

## VERTEDEROS.

- PROCESO DE EVOLUCION DE LOS RESIDUOS EN UN VERTEDERO.
- TIPOS DE VERTEDEROS Y CLASIFICACION DE RESIDUOS
- LEGISLACION
- BALANCE HIDRICO Y MODELOS DE PREDICCIÓN DE BIOGAS Y LIXIVIADO
- SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTO
- DISEÑO DE UN VERTEDERO.
- ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.

P R O G R A M A



UNIÓN EUROPEA



Fundación Biodiversidad



# PROCESO DE EVOLUCION DE LOS RESIDUOS EN UN VERTEDERO

1930-39 varias ciudades de los Estados Unidos probaron apisonar los residuos con maquinaria pesada para **economizar espacio** y desarrollar un medio para eliminar los residuos en tierra de forma económica e higiénica

POR primera vez se utilizó en los Estados Unidos el método de vertido de "**excavar y tapar**" o de "**la trinchera**". Esta técnica pretendía principalmente **eliminar el olor y aumentar el espacio** de disposición.

**vertedero controlado** como lo define la Directiva 31/99/CEE: “una obra de ingeniería en la que los residuos son colocados sobre el terreno, previamente impermeabilizado, compactados y **cubiertos cada día** de trabajo con material de recubrimiento apropiado para minimizar los riesgos de contaminación ambiental. Además el vertedero debe poseer conducciones para los lixiviados y gases producidos en la descomposición de los residuos”.

Sin embargo, no hay que olvidar que el actual marco legislativo, reconoce el vertedero controlado como una adecuada forma para el depósito de los residuos, **siempre y cuando se lleve a cabo un tratamiento previo de los residuos a disponer.**





En 1917, Antonio Arenas Ramos, ingeniero jefe del servicio de limpieza de la ciudad de Madrid propone un pliego de bases para adjudicar el aprovechamiento de las basuras de la zona norte de Madrid. Entre las medidas tomadas en este pliego destacan la habilitación de vertederos en un numero no fijado y a una distancia máxima de **8 kilómetros de la puerta de sol** (centro de la ciudad).

**MINIMIZAR COSTES DE TRANSPORTE. ALMACEN**



*Alfonso Sánchez Porta  
Rebusca en las montañas  
de basura de Tetuán de  
Victoria, 1930 (Archi-  
Alfonso)*



El **13 de Enero de 1925** la creciente preocupación del Ayuntamiento de Madrid por la ausencia de venta de los residuos dispuestos en el vertedero y la **aparición de enfermedades** que se achacaban a la convivencia de la población y animales domésticos con los residuos del vertedero,



*Antonio Arenas Ramos: Camión automóvil descargando en el vertedero, 1930  
(Imprenta Municipal de Madrid)*





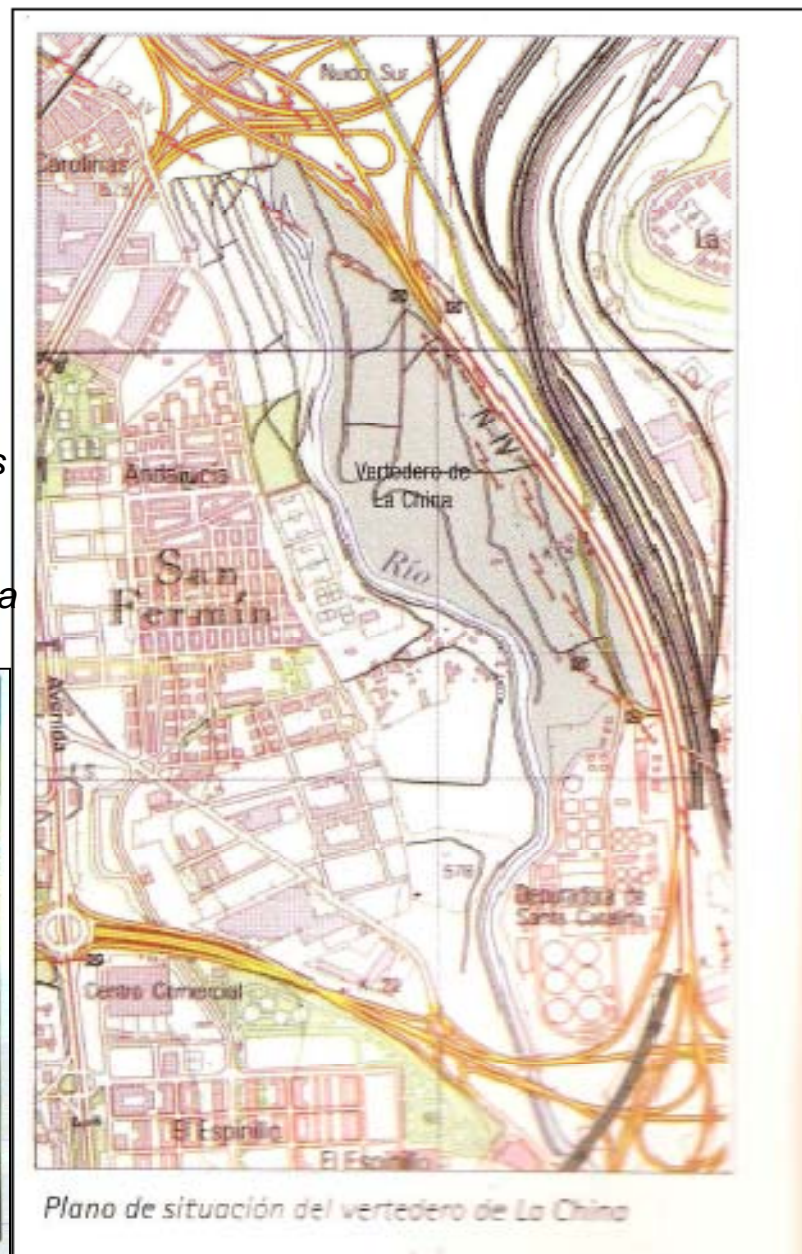
### Antiguos puntos de vertido de Madrid

| Nombre          | Calle                      | Distrito   |                         |                       |                |
|-----------------|----------------------------|------------|-------------------------|-----------------------|----------------|
| Lavadero        | Nuestra señora de Valverde | Fuencarral | Los olivos              | Barrio los Olivos     | Hortaleza      |
| Manuela Mingez  | Manuela Mingez             | Tetuán     | Puente tres ojos        | Avd San Diego         | Vallecas       |
| Chorrillo       | Marqués de Viana           | Tetuán     | Martinez de la Riva     | Zapateros             | Vallecas       |
| Paseo Dirección | Pinos Altas                | Tetuán     | Arenal                  | Alto Arenal           | Vallecas       |
| Conde Serallo   | Conde Serrano              | Tetuán     | Pozo Tío Raimundo       | Pozo Tío Raimundo     | Vallecas       |
| Valdevivar      | Barrio valdevivar          | Hortaleza  | Villa                   | Villa Vallecas        | Villa Vallecas |
| Cajón           | Barrio de Cajón            | Hortaleza  | Del Este                | Arrollo Media Legua   | Cuidad Lineal  |
|                 |                            |            | Civil                   | Avd. Daroca           | Cuidad Lineal  |
|                 |                            |            | Canillas                | Alcalde López casero  | Cuidad Lineal  |
|                 |                            |            | García Noblezas         | Hnos. García Noblezas | Cuidad Lineal  |
|                 |                            |            | Carretera de Toledo Km7 | Crta. Toledo          | Usera          |
|                 |                            |            | Avd/ Guadalajara        | Avd. Guadalajara      | San Blas.      |



Ayuntamiento de Madrid:  
Vertedero Los Toriles, 1972.  
Memoria del Servicio de  
Limpiezas, 1972

El **procedimiento de explotación** de estos era el de **cubrimiento de** los residuos utilizando palas mecánicas y existencia de bascula en los vertederos municipales. A principio de los años setenta se hacia constar el la Memoria de 1972: “los vertederos disponían de una red de suministro de agua para **regar la zona de descarga**, evitando que se levantara polvo, permitiendo que se cortasen los numerosos **incendios** que se originaban espontáneamente por la elevada temperatura que se advierte en la fermentación de la basura”.







En este vertedero operaba una máquina denominada **Tana de 26 toneladas** equipada con rodillos dentados que conseguía compactar los residuos hasta densidades entre **800 – 900 Kg/m<sup>3</sup>**. Una vez extendidos y compactados los residuos se **cubrían con un material de cobertura cada dos días**. **No se colectaban los gases** y con los **lixiviados se recirculaban** sobre la masa de residuos cuando estos aparecían aguas abajo del vertedero, no existiendo un sistema de control de emisiones optimo por estas fechas. Este estado de control que únicamente consistía en la colocación, **compactación y cobertura** de los residuos se puede observar en la siguiente fotografía.



*Vertedero de Valdemingómez. Ayuntamiento de Madrid, 1978*



En el **campo de la investigación** cabe mencionar respecto a los conceptos de impermeabilización que unas de las primeras Tesis Doctorales al respecto de el comportamiento de los lugares de vertido con el medio hídrico fue la realizada por Szanto M. en el año **1986** y titulada “Optimización del aprovechamiento energético del vertedero controlado frente a la contaminación de aguas”.

| SELLANTE             |  | OBSERVACIONES  |
|----------------------|--|--|
| CLASIFICACION        | TIPOS REPRESENTATIVOS  |  |
| Suelo compactado     |  | Debe contener arcilla o limo fino  |
| Químicos orgánicos   | Bentonitas, ilitas, caolinitas   | El espesor de la capa varía entre 10 – 40 cm. La capa debe ser continua y no se debe permitir que se seque o fracture. |
| Químicos inorgánicos | Carbonato de sodio, silicato o pirofosfato.  | Su uso depende de las características locales del suelo  |
| Químicos sintéticos  | Polímeros, latex de caucho   | Experimental, uso no establecido   |
| Membrana sintética   | Cloruro de polivinilo, caucho butil, hipalon, polietileno, sellante de nylon reforzado                         | Costoso. Se puede justificar donde se va a recuperar gas.  |
| Asfalto              | Asfalto modificado, caucho impregnado en asfalto, malla de polietileno cubierta en asfalto, concreto asfáltico | La capa debe ser suficientemente gruesa para mantener la continuidad bajo condiciones diferenciales de asentamientos.  |
| Otros                | Inyección de cemento, suelo cemento, cemento plástico  |  |

*El numero de documentos revisado en la Tesis mencionada anteriormente fue superior a*



# LEGISLACION

RAMINP 2414/1961 → Decreto 1/97 → R.D. 1481/2001

LEY 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.

Anexo I RAMINP, 1961.

|           |   |
|-----------|---|
| 522 -     | Recogida de basuras                                 |
| 522 -     | Dstrucción de basuras por autodepuración            |
| 522 -     | Dstrucción de basuras por depuración biológica      |
| 522 -     | Dstrucción de basuras por procedimientos físicos    |
| 522 -     | Dstrucción de basuras por procedimientos biológicos |
| 611 - 136 | Almacenes al por mayor de abonos orgánicos          |

**El RAMINP considera a la actividad de vertido de residuos sólidos como insalubre, nociva y molesta y no la considera peligrosa. Esta clasificación como actividad no peligrosa indica que en esa época se desconocían parte de las reacciones existentes en la masa de residuos, no considerándose la capacidad que poseían los vertederos de albergar residuos peligrosos y de general reacciones metanogéncias con desenlaces explosivos.**



**La Ley 10/98 de Residuos** incorpora a nuestra legislación la Directiva marco sobre residuos 91/156, derogando la Ley 442/75 de residuos, vigente hasta el momento. En esta ley 10/98 se establecen claramente la prioridad de las fases de gestión y sus principios. **Esta priorización se basa en la Prevención como primer paso. Como segundo paso, la Valorización y por último la Eliminación.** Esta última fase trata de destruir, con el menor impacto medioambiental posible, los residuos que no son valorizados. Los procedimientos que incluyen la eliminación son:

- El vertedero controlado.
- La incineración.
- La estabilización.

En el artículo 3.1. de la citada Ley se define **la eliminación** como todo procedimiento dirigido, bien al vertido de los residuos o bien a su destrucción, total o parcial, realizado sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar desperdicios al medio ambiente. Esta Ley **no especifica en ningún momento los criterios técnicos ni las medidas de control y sostenimiento de las emisiones para el lugar de eliminación.**





**Ausencia legislativa** sobre las condiciones técnicas que deben reunir los lugares de disposición final generan situaciones en toda España que se ven reflejadas en el **Plan Nacional de Residuos Sólidos Urbanos del año 2000** :

- **Ausencia de estadísticas** fiables referentes al tratamiento de residuos.
- Existencia de un elevado numero de **vertederos incontrolados**.
- Muchos vertederos que se definen como “**controlados**” **incumplen los requisitos técnicos** establecidos por la Directiva 31/99/CE.
- **Inexistencia de un marco de apoyo a la introducción de tecnologías limpias** en las fases de gestión de los residuos.
- El método de eliminación mediante **vertedero es del 70,4%** del total en peso de los residuos generados. De este porcentaje el 12,2 % se considera como incontrolado y el 58,4% como controlado. Si bien, especifica que este concepto de vertedero controlado se hace referencia a vertedero autorizado administrativamente, **Reconociendo** que entre los objetivos de esta directiva se **encuentra la necesidad de impermeabilizar el vaso de vertido** mediante una capa natural y/o artificial con características técnicas determinadas, situación que no se cumple en la mayoría de los vertederos españoles denominados controlados.

# PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (PNIR) 2007-2015

## OBJETIVOS DEL PNIR

### ELIMINACION EN VERTEDERO




- Eliminación en vertedero de las siguientes cantidades de RU, procedentes de la fracción resto, a partir de los años que se indican (%):

|                                       | 2009      | 2012  |
|---------------------------------------|-----------|-------|
| Eliminación en vertedero incontrolado | 0         | 0     |
| Eliminación en vertedero controlado   | 30-38 (*) | 10-12 |

(\*)Objetivos de la Estrategia nacional para reducir los residuos biodegradables destinados a vertederos



❑ Real Decreto 1481/2001:


- 
- 
- 
- ❑ Establece el régimen jurídico aplicable a las actividades de eliminación de residuos mediante depósito en vertederos.
  - ❑ Criterios técnicos mínimos para el diseño, construcción, explotación, clausura y mantenimiento de vertederos.
    - Diferenciación entre vertederos de residuos peligrosos, no peligrosos e inertes.
    - Criterios de admisión de residuos y nuevos criterios de ubicación.
    - Red de captaciones de aguas superficiales, captación de lixiviados y gases
    - Protección de aguas y suelo. Criterios severos de impermeabilización.
    - Tratamiento de lixiviados, Estabilidad de la masa, red de piezómetros de control.
    - Obligación de gestionar los vertederos después de su clausura durante un periodo de tiempo no inferior a 30 años.
  - ❑ **Aborda la adaptación de los vertederos actuales a las exigencias ambientales.**



Art. 4:

- VERTEDEROS R.N.P.
- VERTEDEROS DE R.P.
- VERTEDEROS DE R.I.

→ CRITERIOS DE ADMISIÓN DE RESIDUOS EN VERTEDEROS



Hay que tener en cuenta que un mismo vertedero puede clasificarse en varias categorías. Esta clasificación se adoptará en todo el territorio nacional, independientemente de las subclasificaciones que puedan realizar las Comunidades autónomas.



# CONTAMINACIÓN DEL MEDIO

- ❑ El MMA considera en 8.000 los lugares de vertido potenciales de contaminación en España.
- ❑ La presencia de vertederos afecta a acuíferos, aguas superficiales, suelos, vegetación y ecosistemas.



- Residuos urbanos.
- Residuos peligrosos.
- Vehículos fuera de uso.
- Neumáticos fuera de uso.
- Lodos de depuradora EDAR.
- Residuos de construcción y demolición.
- PCBs/PCTs.
- Residuos de pilas y acumuladores usados.
- Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Residuos de actividades extractivas.
- Residuos de plásticos de uso agrario.
- Residuos industriales no peligrosos.
- Suelos contaminados

VERTEDEROS CONTROLADOS POR C.C. A.A. (290 controlados y en funcionamiento en el 2001.)

- ❑ Emplazamiento para la eliminación de residuos sólidos que favorece la minimización del espacio, la protección del medio ambiente, el coste de la disposición final y su posterior reinserción al medio.

## Precipitación

## Desechos



Características:  
Precipitación.  
Vientos.  
Pendientes.

Características:  
Humedad.  
Material Cobertura  
Compactación

## BIOGAS

Ruido.  
Olores

Elementos del medio afectados:  
- Suelo.  
- Atmósfera.  
- Aguas superficiales.  
- Aguas Subterráneas.  
Afección directa sobre la Salud.

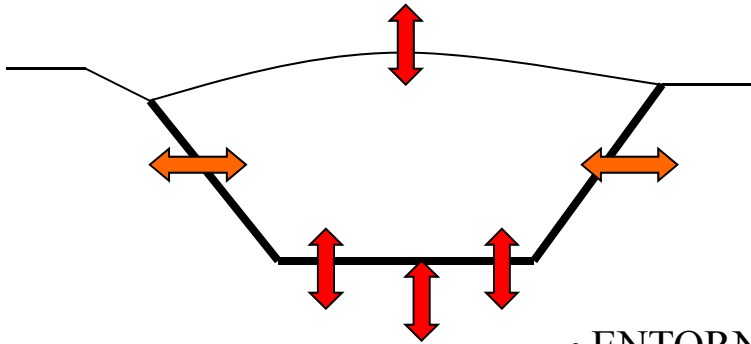
## LIXIVIADO



## DISEÑO DE VERTEDEROS. AFECCIONES AL MEDIO

### • VERTEDERO COMO LUGAR “ HERMETICO”

- Impermeabilización..
- Coberturas.
- Se basa en Ingeniería de Diseño ( R.T.P.)



### • ENTORNO – VERTEDERO

- Estudio del Medio Físico. Capacidad de Dispersión de Emisiones
- Interacción medio - Vertedero

### DIRECTIVA EUROPEA. (31/99/CE)

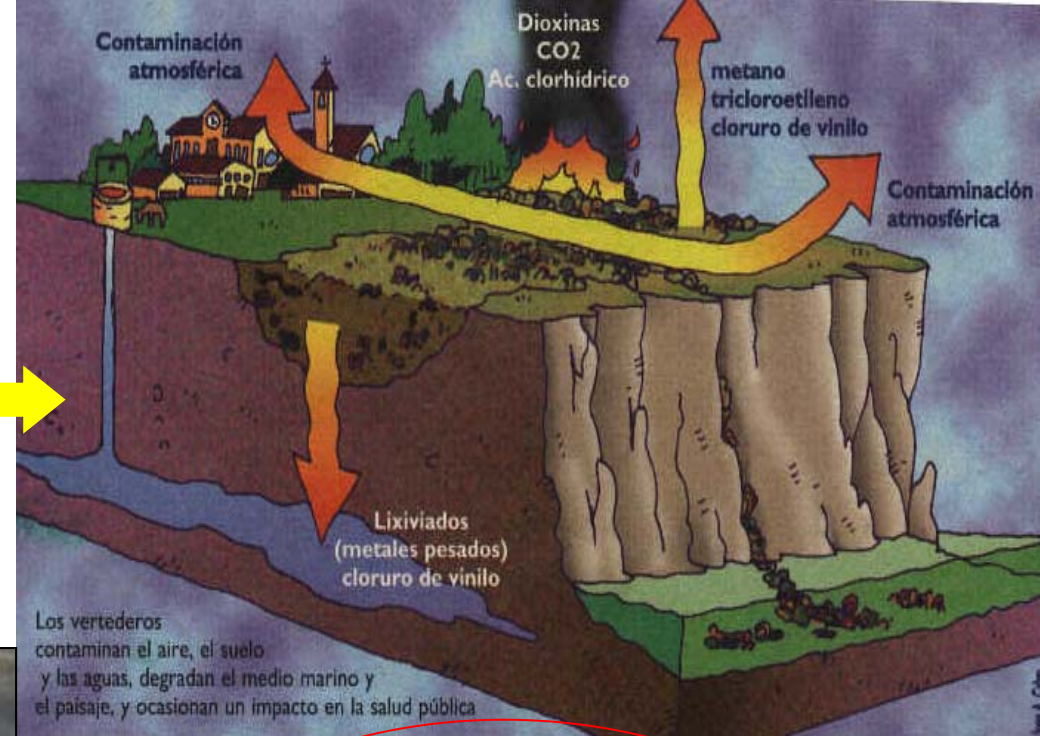
- Fuertes medidas de impermeabilización.
- Reducir los efectos negativos en la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, el suelo y el aire, así como para la salud humana durante **todo el ciclo de vida** del vertedero.
- **Plan de acondicionamiento del vertedero incluyendo en el las medidas correctoras para continuar las operaciones de vertido .**
- Reducción de Materia Orgánica dispuesta y de Residuos.
- Fuertes Controles Ambientales.



## ¿ Porque se producen las afecciones a los elementos del medio ?

### 1) UBICACIÓN DEL VERTEDERO

- Características hidrogeológicas.
- Características Climáticas, Atmosféricas.
- Distancias a núcleos urbanos.
- Entorno Paisajístico.
- Factores culturales y éticos,
- Etc.



### 2) DINAMICA DEL VERTEDERO

- Compactación. **Densidad del vertedero**
- Edad del vertedero.
- Tipo y características del material de cobertura.
- Características de la impermeabilización.
- Control de gases y lixiviados.
- Existencia de vallado.
- **Cantidad de Materia Orgánica en vertedero.**
- **Humedad de la masa de residuos.**
- Etc..







## • AGUAS SUPERFICIALES

- Compactación.
- Tipo de residuos y % de materia orgánica
- Edad del vertedero.
- Material de cobertura.
- Pendiente hacia cauces superficiales.
- Permeabilidad.
- Sistema de drenaje superficial.
- Pluviometría de la zona.
- Existencia de aguas superficiales.
- Impermeabilización del punto de vertido.
- Control de líquidos lixiviados.
- Cobertura final.
- Ubicación del punto en zona inundable.
- Ubicación del punto en zona de escorrentía.
- Operatividad en el punto de vertido.



## • AGUAS SUBTERRÁNEAS

- Compactación.
- Tipo de residuos y % de materia orgánica
- Edad del vertedero.
- Material de cobertura.
- Características del acuífero.
- Sistema de drenaje superficial.
- Pluviometría de la zona.
- Impermeabilización del punto de vertido.
- Control de líquidos lixiviados.
- Cobertura final.
- Existencia de fallas en el vaso del vertido.
- Ubicación del punto en zona inundable.
- Ubicación del punto en zona de escorrentía.
- Operatividad en el punto de vertido.





### • ATMÓSFERA

- Compactación.
- Tipos de residuos y % de Materia orgánica.
- Material de cobertura.
- Pluviometría de la zona.
- Control de gases.
- Estado de los caminos internos.
- Cobertura final.
- Edad.
- Operatividad en el punto de vertido.

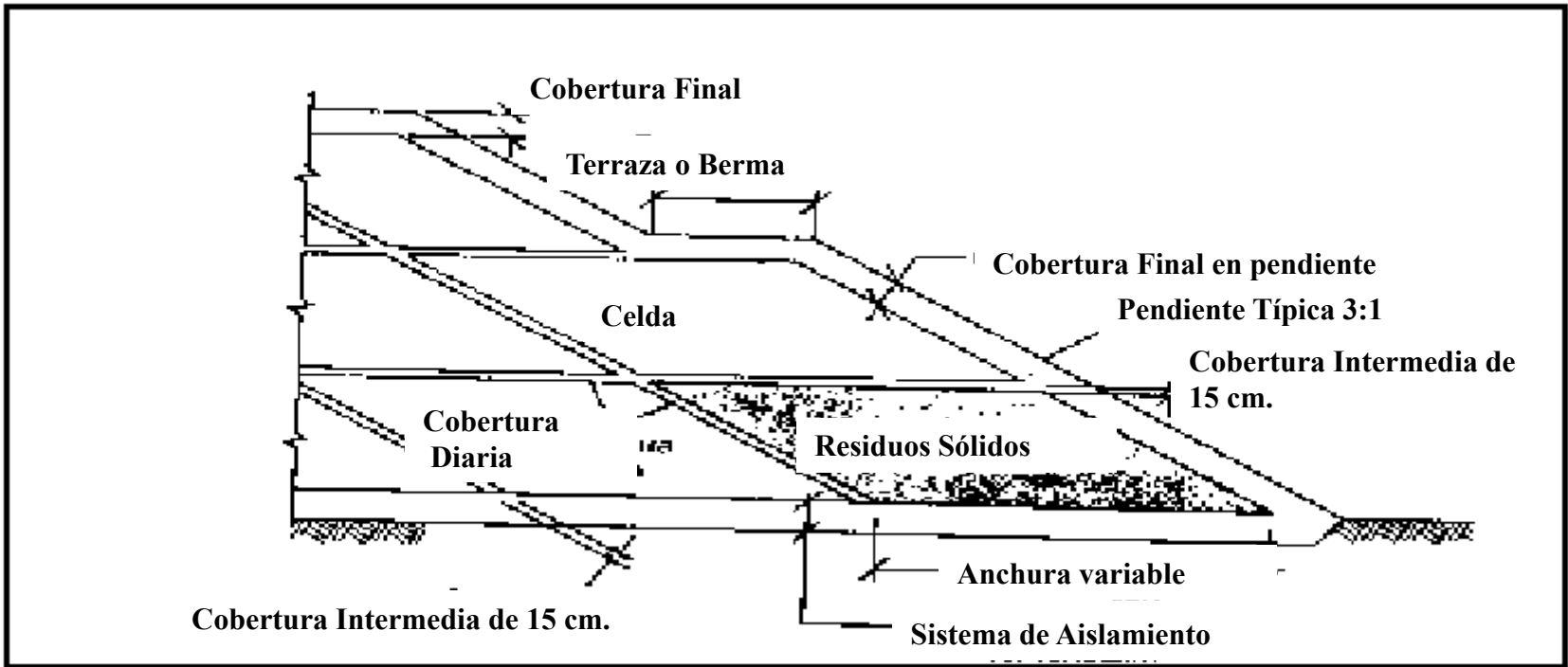


### • SUSTRATO EDÁFICO

- Compactación (capacidad portante).
- Material de cobertura.
- Control de gases.
- Control de lixiviados.
- Edad del vertedero y % materia orgánica.
- Impermeabilización del punto de vertido.
- Ubicación del punto en zona inundable.
- Ubicación del punto en zona de escorrentía.
- Operatividad en el punto de vertido.







- **Celda.**
- **Berma.**
- **Cobertura diaria / final.**
- **Instalaciones de Recogida de Gases y Lixiviados.**
- **Frente de Trabajo.**
- **Impermeabilización del vaso.**



## **TIPOS DE VERTEDEROS**

### **A) Según la topografía del terreno:**

- **Area,**
- **Trinchera y**
- **Vaguada / depresión**

### **B) Tipo de tratamiento de los residuos en el Vertedero**

- **Sin trituración**
- **Con trituración previa**
- **Con trituración in-situ**

### **C) En función de la compactación alcanzada.**

- **Baja densidad**
- **Media densidad**
- **Alta densidad**
- **Placas o Fardos.**



# TOPOGRAFIA DEL TERRENO

## METODO AREA

- TERRENOS:

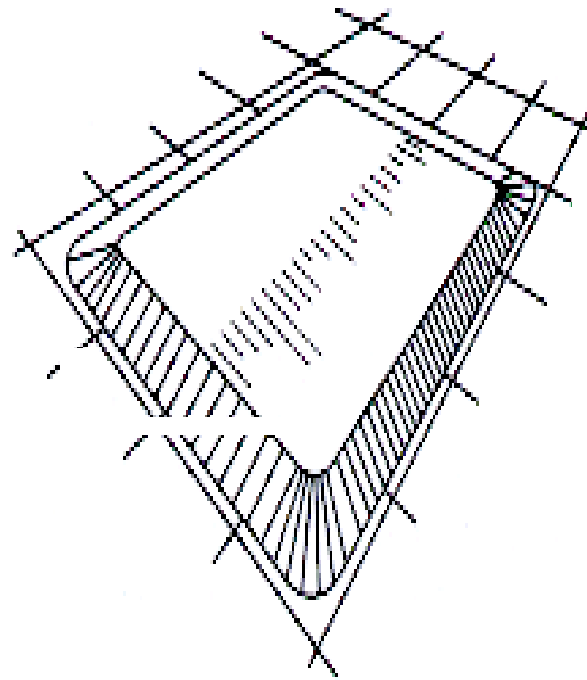
Amplios Y Llanos

Difíciles de Excavar

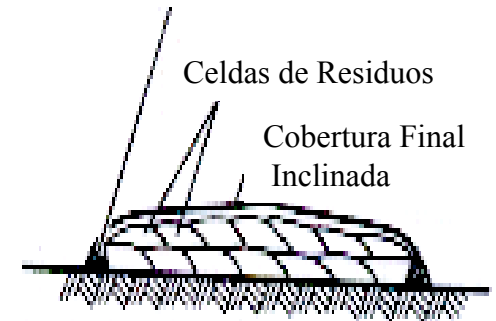
- NIVEL FREATICO POCO PROFUNDO.

- EXISTENCIA DE MAT. COBERTURA.

- PENDIENTE DE TALUDES 2:1 a 4:1



Terraplén de Tierra

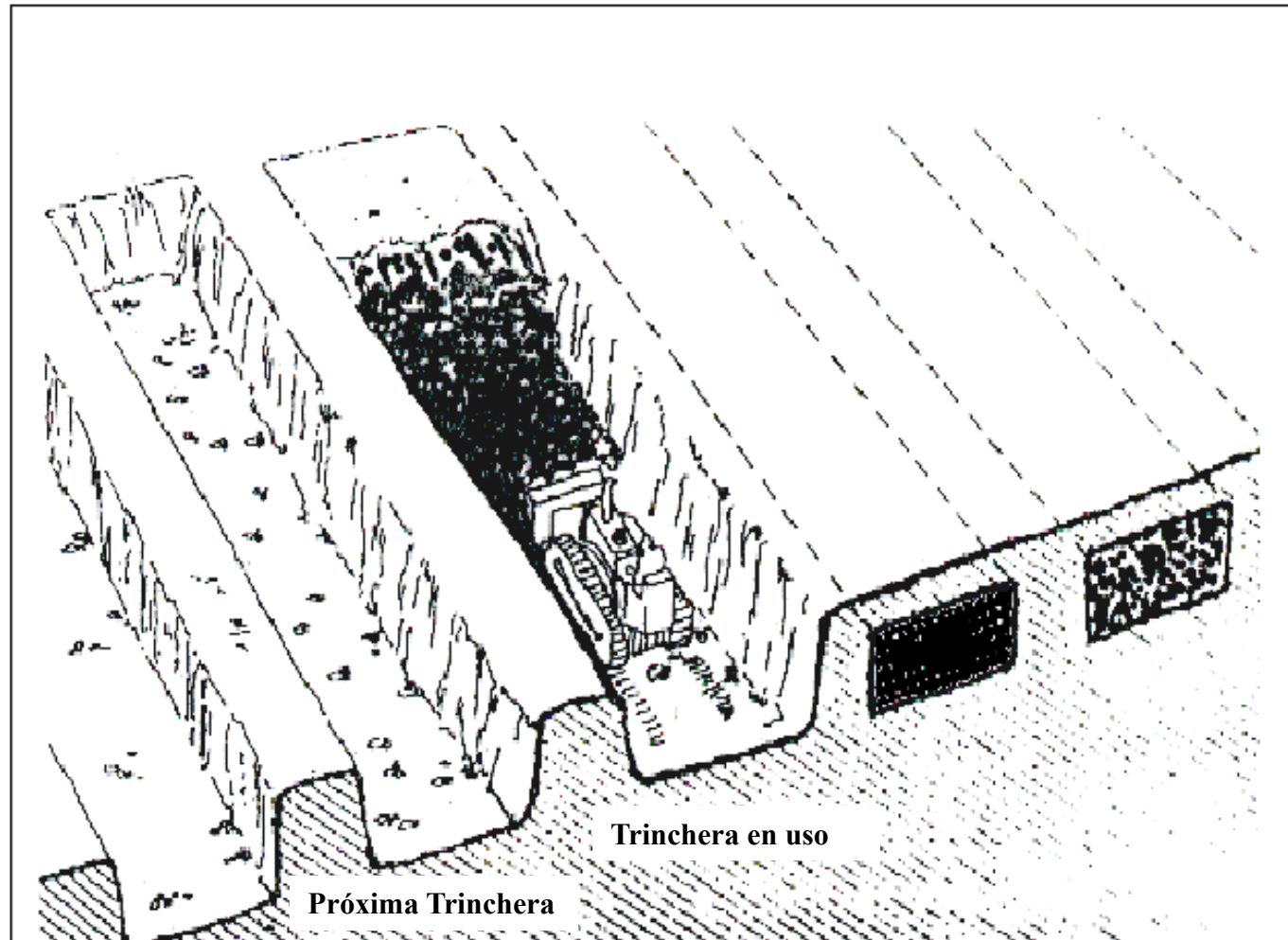


Celdas de Residuos

Cobertura Final Inclinada

# TOPOGRAFIA DEL TERRENO METODO TRINCHERA

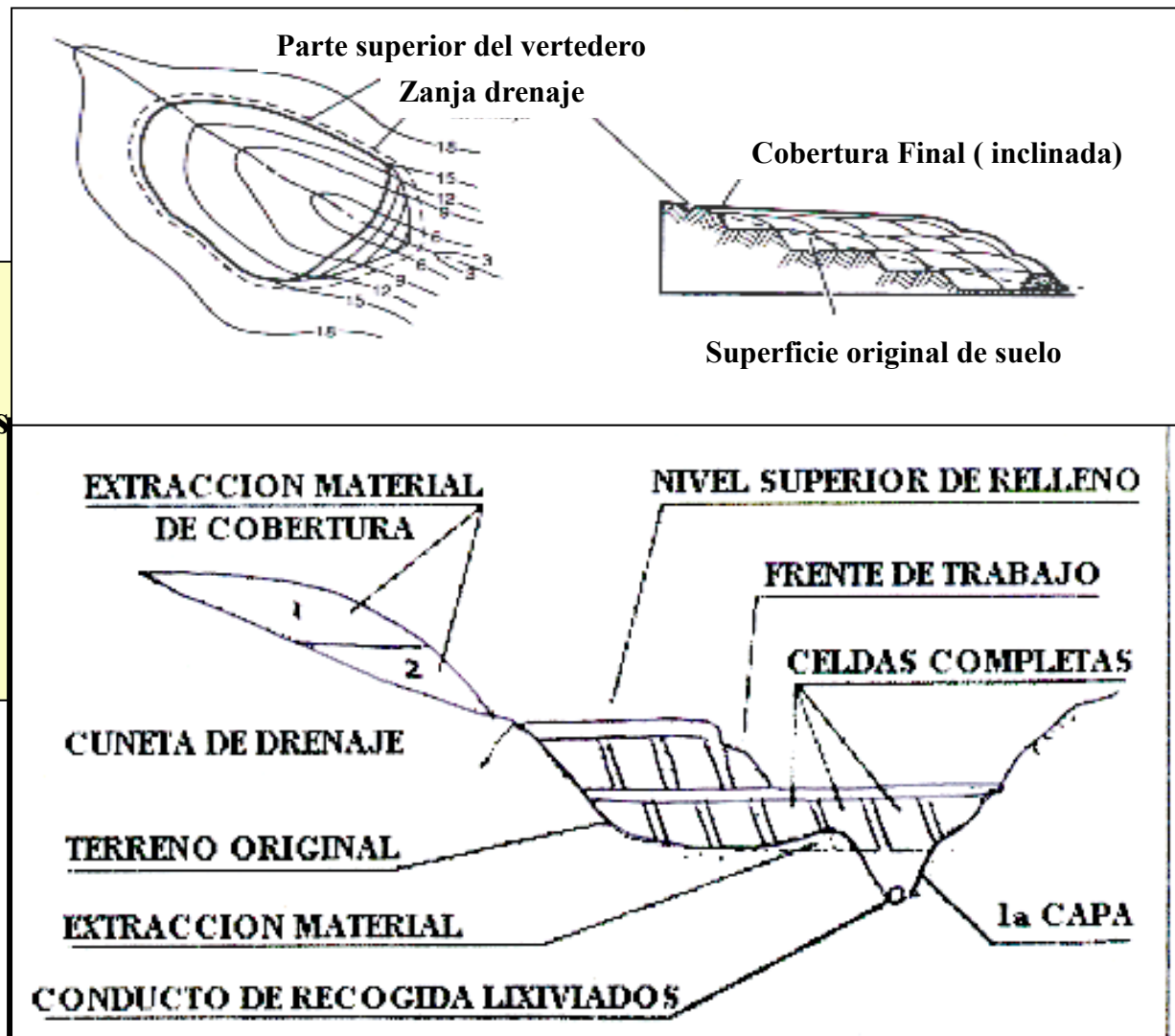
- TERRENOS FACILES DE EXCAVAR AMPLIOS Y LLANOS.
- NIVEL FREATICO PROFUNNDO.
- DIMENSIONES en mts. (300- 60, 5-15, 1-3)



## METODO VAGUADA / DEPRESIÓN

### CONDICIONANTES:

- GEOMORFOLOGÍA  
Barrancos, Fosas, Canteras
- EXISTENCIA DE MATERIAL DE COBERTURA.



# COMPACTACION

## VERTEDERO CONVENCIONAL



- Reciben del orden de 40.000 Tn /Año. ( < 150.000 habitantes)
- Baja Densidad ( 500 Kg / m<sup>3</sup> ).
- Cobertura sobre capas de residuos de 1,5 metros.



# COMPACTACION

## VERTEDERO TRITURACION “IN SITU”



Aireación

Homogeneidad

Humedad

Generación de gases y  
lixiviados

- **Media – Alta Densidad ( 800 – 1000 Kg / m<sup>3</sup> ).**
- **Cobertura diaria sobre capas de residuos de 40 cm.**
- **Maquinaria de 15 Toneladas de peso y rendimientos de 35 – 40 Tn / hora**

# COMPACTACION

## VERTEDERO TRITURACION PREVIA > 1000 Kg / m<sup>3</sup>

### VENTAJAS:

- Homogeneidad Topográfica.
- Menores olores, sin cobertura diaria
- menor generación de lixiviados.
- Mayor velocidad de descomposición y estabilización



### DESVENTAJAS:

- Dimensionamiento de la trituradora (flujos de residuos y tamaños)
- Coste económico elevado, grandes extensiones de terreno
- Épocas de lluvia se pierden las ventajas mencionadas.





# VERTEDEROS DE FARDOS

- ALCANZAN DENSIDADES 1000 - 1200 kg/m<sup>3</sup>.
- REDUCCIÓN DE LA FERNMENTACIÓN ( LIXIVIADOS Y GASES).
- REDUCE LA NECESIDAD DE MAT.COBERTURA.
- MAQUINARIA SE DISEÑA PARA UN FLUJO FIJO DE RESIDUOS.

Pedir documentación



# PLANIFICACION

## **A) Organización del lugar y operaciones de vertido.**

- Camino de acceso al frente de trabajo
- Oficinas administrativas,
- Zonas de residuos especiales,
- Áreas de procesamiento de residuos,
- Zonas de acopio de material de cobertura e instalaciones de drenaje
- Instalaciones de gases y lixiviado
- Áreas de tratamiento
- Pozos de auscultación.



## **B) Etapa de Clausura del Vertedero**

- Capa de cobertura final,
- Escorrentía superficial,
- Recolección y tratamiento de gases y líquidos lixiviados,
- Asentamientos y posibles deslizamientos de la masa de residuos.
- Sistemas de detección de contaminación ambiental.



# REACCIONES PRODUCIDAS EN EL VERTEDERO

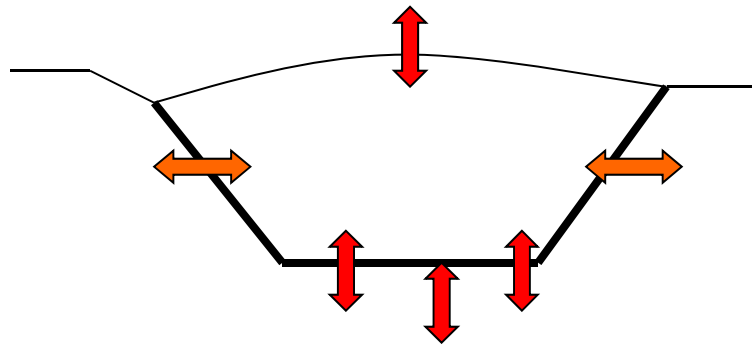
## ➤ REACCIONES BIOQUIMICAS

■ BIOGAS

■ LIXIVIADOS

## ➤ REACCIONES FÍSICAS

■ ASENTAMIENTOS





## **IMPERMEABILIZACION: LATERAL / FONDO**

**Impedir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas y superficiales y la eficaz recogida de los lixiviados**

### **IMPERMEABILIZACION NATURAL**

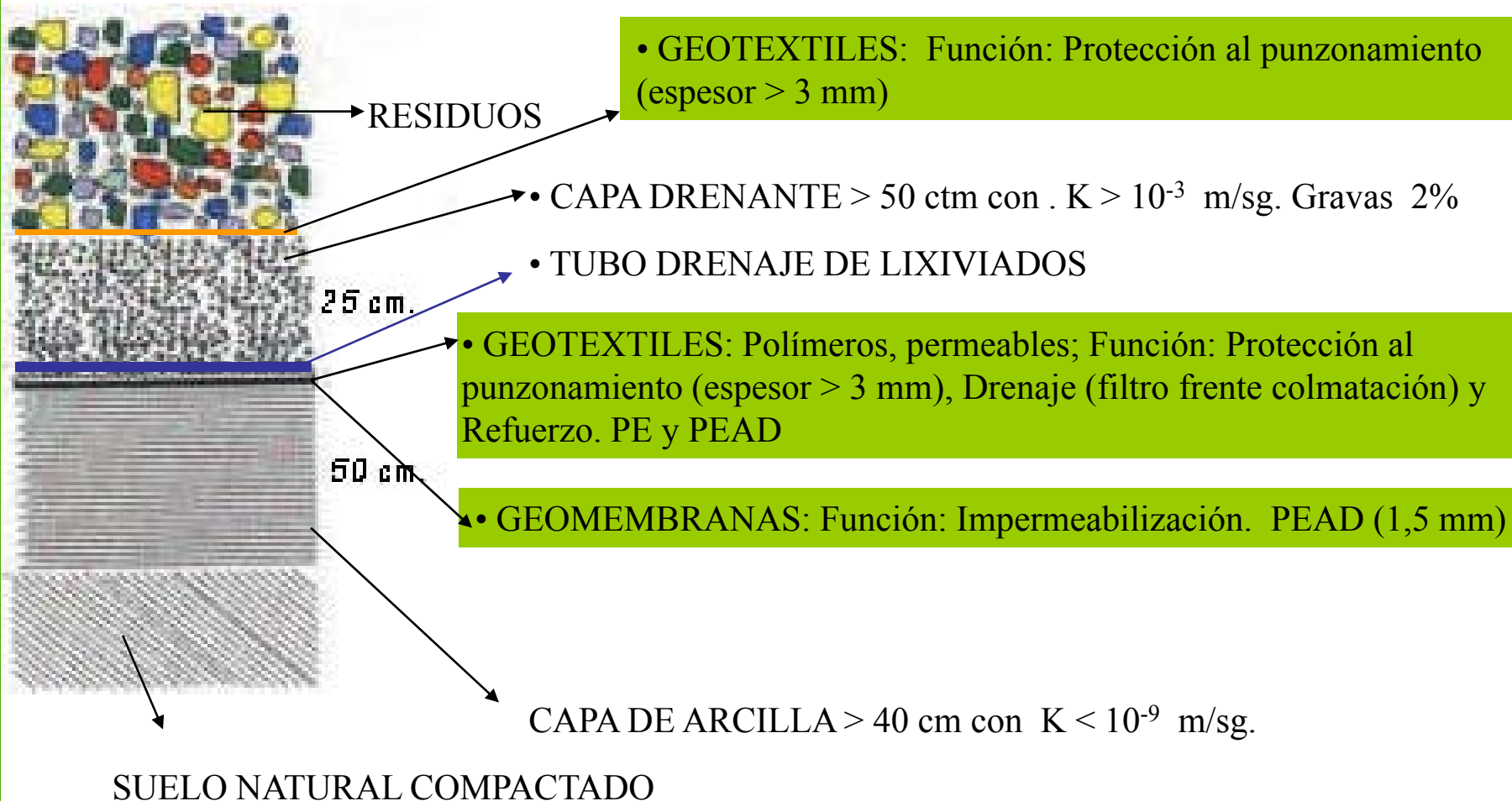
- Para Vertederos de Residuos Peligrosos  $K \leq 10^{-9}$  m/sg; espesores  $\geq 5$  metros
- Para Vertederos de Residuos no Peligrosos  $K \leq 10^{-9}$  m/sg; espesores  $\geq 1$  metro.
- Para Vertederos de Residuos Inertes  $K \leq 10^{-7}$  m/sg; espesores  $\geq 1$  metro

### **IMPERMEABILIZACIÓN MIXTA**

Barrera Natural + Artificial ( Geotextil / Geomembranas / Geomallas)



## ■ IMPERMEABILIZACION









# CALCULO DE FORMULA ESTEQUIMETRICA DE LOS RESIDUOS A TRATAR



## PROPIEDADES QUÍMICAS - COMPOSICIÓN QUIMICA:



- 
- 
- 
- 
- Lixiviabilidad.
  - Generación de gases.
  - C/N.
  - Toxicidad.



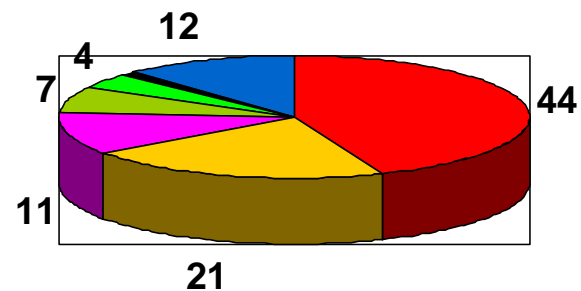
# COMPOSICION DE LOS RESIDUOS

Datos típicos sobre el análisis elemental de los componentes combustibles en los RSU domésticos<sup>a</sup>

| Componentes             | Porcentaje en peso (base seca) |           |         |           |        |         |
|-------------------------|--------------------------------|-----------|---------|-----------|--------|---------|
|                         | Carbono                        | Hidrógeno | Oxígeno | Nitrógeno | Azufre | Cenizas |
| <b>Orgánicos</b>        |                                |           |         |           |        |         |
| Residuos de comida      | 48,0                           | 6,4       | 37,6    | 2,6       | 0,4    | 5,0     |
| Papel                   | 43,5                           | 6,0       | 44,0    | 0,3       | 0,2    | 6,0     |
| Cartón                  | 44,0                           | 5,9       | 44,6    | 0,3       | 0,2    | 5,0     |
| Plásticos               | 60,0                           | 7,2       | 22,8    | —         | —      | 10,0    |
| Textiles                | 55,0                           | 6,6       | 31,2    | 4,6       | 0,15   | 2,5     |
| Goma                    | 78,0                           | 10,0      | —       | 2,0       | —      | 10,0    |
| Cuero                   | 60,0                           | 8,0       | 11,6    | 10,0      | 0,4    | 10,0    |
| Residuos de jardín      | 47,8                           | 6,0       | 38,0    | 3,4       | 0,3    | 4,5     |
| Madera                  | 49,5                           | 6,0       | 42,7    | 0,2       | 0,1    | 1,5     |
| <b>Inorgánicos</b>      |                                |           |         |           |        |         |
| Vidrio <sup>b</sup>     | 0,5                            | 0,1       | 0,4     | <0,1      | —      | 98,9    |
| Metales <sup>b</sup>    | 4,5                            | 0,6       | 4,3     | <0,1      | —      | 90,5    |
| Suciedad, cenizas, etc. | 26,3                           | 3,0       | 2,0     | 0,5       | 0,2    | 68,0    |

<sup>a</sup> Adaptado, en parte, de Referencia 6.

<sup>b</sup> El contenido orgánico es de recubrimientos, etiquetas y otros materiales adjuntos.



# HUMEDADES COMPONENTES DE LOS RESIDUOS

## TABLA 2

Datos típicos sobre peso específico y contenido en humedad para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas

| Tipos de residuos                    | Peso específico, kg/m <sup>3</sup> |        | Contenido en humedad, porcentaje en peso |        |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------|--|--------|
|                                      | Rango                              | Típico | Rango                                    | Típico |
| <b>Domésticos (no compactados)</b>   |                                    |        |  |        |
| Residuos de comida (mezclados)       | 131-481                            | 291    | 50-80                                    | 70     |
| Papel                                | 42-131                             | 89     | 4-10                                     | 6      |
| Cartón                               | 42-80                              | 50     | 4-8                                      | 5      |
| Plásticos                            | 42-131                             | 65     | 1-4                                      | 2      |
| Textiles                             | 42-101                             | 65     | 6-15                                     | 10     |
| Goma                                 | 101-202                            | 131    | 1-4                                      | 2      |
| Cuero                                | 101-261                            | 160    | 8-12                                     | 10     |
| Residuos de jardín                   | 59-225                             | 101    | 30-80                                    | 60     |
| Madera                               | 131-320                            | 237    | 15-40                                    | 20     |
| Vidrio                               | 160-481                            | 196    | 1-4                                      | 2      |
| Latas de hojalata                    | 50-160                             | 89     | 2-4                                      | 3      |
| Aluminio                             | 65-240                             | 160    | 2-4                                      | 2      |
| Otros metales                        | 131-1.151                          | 320    | 2-4                                      | 3      |
| Suciedad, cenizas, etc.              | 320-1.000                          | 481    | 6-12                                     | 8      |
| Cenizas                              | 650-831                            | 745    | 6-12                                     | 6      |
| Basuras                              | 89-181                             | 131    | 5-20                                     | 15     |
| <b>Residuos de jardín domésticos</b> |                                    |        |  |        |
| Hojas (sueltas y secas)              | 30-148                             | 59     | 20-40                                    | 30     |
| Hierba verde (suelta y húmeda)       | 208-297                            | 237    | 40-80                                    | 60     |
| Hierba verde (húmeda y compactada)   | 593-831                            | 593    | 50-90                                    | 80     |
| Residuos de jardín (triturados)      | 267-356                            | 297    | 20-70                                    | 50     |
| Residuos de jardín (compostados)     | 267-386                            | 326    | 40-60                                    | 50     |

| Tipos de residuos                     | Peso específico, kg/m <sup>3</sup> |        | Contenido en humedad, porcentaje en peso |        |
|---------------------------------------|------------------------------------|--------|--|--------|
|                                       | Rango                              | Típico | Rango                                    | Típico |
| <b>Urbanos</b>                        |                                    |        |  |        |
| En camión compactador                 | 178-451                            | 297    | 15-40                                    | 20     |
| En vertedero                          |                                    |        |  |        |
| Medianamente compactados              | 362-498                            | 451    | 15-40                                    | 25     |
| Bien compactados                      | 590-742                            | 600    | 15-40                                    | 25     |
| <b>Comerciales</b>                    |                                    |        |  |        |
| Residuos de comida (húmedos)          | 475-950                            | 540    | 50-80                                    | 70     |
| Aparatos                              | 148-202                            | 181    | 0-2                                      | 1      |
| Cajas de madera                       | 110-160                            | 110    | 10-30                                    | 20     |
| Podas de árboles                      | 101-181                            | 148    | 20-80                                    | 5      |
| Basura (combustible)                  | 50-181                             | 119    | 10-30                                    | 15     |
| Basura (no combustible)               | 181-362                            | 300    | 5-15                                     | 10     |
| Basura (mezclada)                     | 139-181                            | 160    | 10-25                                    | 15     |
| <b>Construcción y demolición</b>      |                                    |        |  |        |
| Demolición mezclados (no combustible) | 1.000-1.600                        | 1.421  | 2-10                                     | 4      |
| Demolición mezclados (combustible)    | 300-400                            | 360    | 4-15                                     | 8      |
| Construcción mezclados (combustible)  | 181-360                            | 261    | 4-15                                     | 8      |
| Hormigón roto                         | 1.198-1.800                        | 1.540  | 0-5                                      | —      |
| <b>Industriales</b>                   |                                    |        |  |        |
| Fangos químicos (húmedos)             | 801-1.101                          | 1.000  | 75-99                                    | 80     |
| Cenizas volantes                      | 700-900                            | 800    | 2-10                                     | 4      |
| Restos de cuero                       | 100-250                            | 160    | 6-15                                     | 10     |
| Chatarra metálica (pesada)            | 1.501-2.000                        | 1.780  | 0-5                                      | —      |
| Chatarra metálica (ligera)            | 498-900                            | 740    | 0-5                                      | —      |
| Chatarra metálica (mezclada)          | 700-1.500                          | 900    | 0-5                                      | —      |
| Aceites, alquitranes, asfaltos        | 801-1.000                          | 950    | 0-5                                      | 2      |
| Serrín                                | 101-350                            | 291    | 10-40                                    | 20     |
| Residuos textiles                     | 101-220                            | 181    | 6-15                                     | 10     |
| Madera (mezclada)                     | 400-676                            | 498    | 30-60                                    | 25     |
| <b>Agrícolas</b>                      |                                    |        |  |        |
| Agrícolas (mezclados)                 | 400-751                            | 561    | 40-80                                    | 50     |
| Animales muertos                      | 202-498                            | 359    | —  | —      |
| Residuos de frutas (mezclados)        | 249-751                            | 359    | 60-90                                    | 75     |
| Estiércol (húmedo)                    | 899-1.050                          | 1.000  | 75-96                                    | 94     |
| Residuos de vegetales (mezclados)     | 202-700                            | 359    | 60-90                                    | 75     |

Adaptado, en parte, de Referencias 6 y 8.

Construir una tabla de cálculo para determinar la distribución porcentual de los mayores elementos que componen los residuos. A continuación se presentan los cálculos necesarios:

\* Tabla de componentes (T.1)

| Componente         | Peso húmedo, kg | Peso seco, kg | Composición, kg |             |              |             |             | Cenizas     |
|--------------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|                    |                 |               | C               | H           | O            | N           | S           |             |
| Residuos de comida | 9,0             | 2,7           | 1,30            | 0,17        | 1,02         | 0,07        | 0,01        | 0,14        |
| Papel              | 34,0            | 32,0          | 13,92           | 1,92        | 14,08        | 0,10        | 0,06        | 1,92        |
| Cartón             | 6,0             | 5,7           | 2,51            | 0,34        | 2,54         | 0,02        | 0,01        | 0,28        |
| Plásticos          | 7,0             | 6,9           | 4,14            | 0,50        | 1,57         | —           | —           | 0,69        |
| Textiles           | 2,0             | 1,8           | 0,99            | 0,12        | 0,56         | 0,08        | —           | 0,05        |
| Goma               | 0,5             | 0,5           | 0,39            | 0,05        | —            | 0,01        | —           | 0,05        |
| Cuero              | 0,5             | 0,4           | 0,24            | 0,03        | 0,05         | 0,04        | —           | 0,04        |
| Residuos de jardín | 18,5            | 6,5           | 3,11            | 0,39        | 2,47         | 0,22        | 0,02        | 0,29        |
| Madera             | 2,0             | 1,6           | 0,79            | 0,10        | 0,68         | —           | —           | 0,02        |
| <b>Total</b>       | <b>79,5</b>     | <b>58,1</b>   | <b>27,39</b>    | <b>3,62</b> | <b>22,97</b> | <b>0,54</b> | <b>0,10</b> | <b>3,48</b> |

Contenido en humedad = 9,7 kg (35,7 kg - 26 kg).

**TABLA 1: COMPONENTES**

**TABLA 2: TABLA HUMEDADES**



# Distribución Porcentual de elementos

| Componente | Peso, kg             |                      |
|------------|----------------------|----------------------|
|            | Sin H <sub>2</sub> O | Con H <sub>2</sub> O |
| Carbono    | 27,39                | 27,39                |
| Hidrógeno  | 3,62 + 2,3           | 6,00                 |
| Oxígeno    | 22,97 + 19           | 41,99                |
| Nitrógeno  | 0,54                 | 0,54                 |
| Azufre     | 0,10                 | 0,10                 |
| Cenizas    | 3,48                 | 3,48                 |

$H_2O = 2 \cdot 1 + 1 \cdot 16 = 18.$   
 $18 \quad \underline{\quad} \quad 100\%$   
 $2 \quad \underline{\quad} \quad x \% \quad x = 11\% \text{ de H}$   
 $89\% \text{ de O}_2$   
 Peso del agua del ejemplo =  
 $79,5 - 58,1 = 21,4.$   
 $H = 21,4 \cdot 11\% = 2,3 \text{ Kg}$   
 $O_2 = 21,4 \cdot 89\% = 19 \text{ Kg}$

## Calculo composición molar

| Componente | Peso atómico, g/mol | Moles                |                      |
|------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|            |                     | Sin H <sub>2</sub> O | Con H <sub>2</sub> O |
| Carbono    | 12,01               | 2.280                | 2.280                |
| Hidrógeno  | 1,01                | 3.584                | 5.940                |
| Oxígeno    | 16,00               | 1.436                | 2.624                |
| Nitrógeno  | 14,01               | 38                   | 38                   |
| Azufre     | 32,07               | 3                    | 3                    |

$(27,39 \cdot 1000) / 12,01 = 2.280$



# Formula estequiometrica, marcando unitario el N

$$2.280 / 38 = 60.$$

| Componente | Relación mol (nitrógeno = 1) |                      | Relación mol (azufre = 1) |                      |
|------------|------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
|            | Sin H <sub>2</sub> O         | Con H <sub>2</sub> O | Sin H <sub>2</sub> O      | Con H <sub>2</sub> O |
| Carbono    | 60,0                         | 60,0                 | 760,0                     | 760,0                |
| Hidrógeno  | 94,3                         | 156,3                | 1.194,7                   | 1.980,0              |
| Oxígeno    | 37,8                         | 69,1                 | 478,7                     | 874,7                |
| Nitrógeno  | 1,0                          | 1,0                  | 12,7                      | 12,7                 |
| Azufre     | 0,1                          | 0,1                  | 1,0                       | 1,0                  |

a) Las fórmulas químicas sin azufre son:

1. Sin agua  $C_{60,0}H_{94,3}O_{37,8}N$
2. Con agua  $C_{60,0}H_{156,3}O_{69,1}N$

b) Las fórmulas químicas con azufre son: (Energético)

1. Sin agua  $C_{760,0}H_{1194,7}O_{478,7}N_{12,7}S$
2. Con agua  $C_{760,0}H_{1980,0}O_{874,7}N_{12,7}S$

# CONTENIDO ENERGÉTICO ( $C_a H_b O_c N_d S_e$ )

$$\text{Kcal / Kg} = 80,56 * C + 338,89 (H_2 - (O_2/8)) + 22,25(S) + 5,56(N_2)$$

Ej:



- a) Determinar la distribución porcentual en peso de los elementos que conforman los residuos, utilizando coeficientes que han sido redondeados.

| Componente | Número de átomos por mol | Peso atómico | Contribución en peso de cada elemento | Porcentaje |
|------------|--------------------------|--------------|---------------------------------------|------------|
| Carbono    | 760                      | 12           | 9.120                                 | 36,03      |
| Hidrógeno  | 1.980                    | 1            | 1.980                                 | 7,82       |
| Oxígeno    | 875                      | 16           | 14.000                                | 55,30      |
| Nitrógeno  | 13                       | 14           | 182                                   | 0,72       |
| Azufre     | 1                        | 32           | 32                                    | 0,13       |
| Total      |                          |              | 25.314                                | 100,00     |

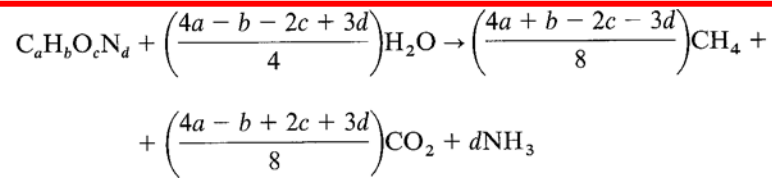
- b) El contenido energético de los residuos utilizando la Ecuación

$$\text{kcal/kg} = 80,56(36,0) + 338,89\left(7,8 - \frac{55,3}{8}\right) + 22,22(0,1) + 5,56(0,7)$$

$$\text{kcal/kg} = 3.207,04$$

> 1200 optimo para la combustión

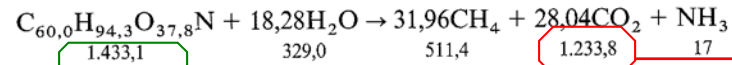




Para los siguientes sub índices y para una cantidad de residuo orgánico degradable en base seca de 56 Kg

$$a = 60,0 \quad b = 94,3 \quad c = 37,8 \quad d = 1$$

La ecuación resultante es



$$\rightarrow 28,04 (2 + 2 \cdot 16)$$

Peso del metano y del dióxido de carbono es:

$$\text{Metano} = \frac{511,4}{1.433,1} (56,0 \text{ kg})$$

$$= 20 \text{ kg}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{1.233,8}{1.433,1} (56 \text{ kg})$$

$$= 48,2 \text{ kg}$$

Lo convertimos en volumen:

$$\text{Metano} = \frac{20 \text{ kg}}{0,718 \text{ kg/m}^3} = 27,86 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{48,2 \text{ kg}}{1,978 \text{ kg/m}^3} = 24,37 \text{ m}^3$$

Densidades  
 $CH_4 = 0,718 \text{ Kg/m}^3$   
 $CO_2 = 1,978 \text{ Kg/m}^3$

% de cada componente:

$$\text{Metano (porcentaje)} = \left(\frac{27,86 \text{ m}^3}{27,86 \text{ m}^3 + 24,37 \text{ m}^3}\right) = 53,3 \text{ por } 100$$

$$\text{Dióxido de carbono (porcentaje)} = 100 \text{ por } 100 - 53,3 \text{ por } 100 = 46,7 \text{ por } 100$$

Basado en el peso seco del material orgánico,  $m^3/kg$

$$\frac{27,86 \text{ m}^3 + 24,37 \text{ m}^3}{56 \text{ kg}} = 0,933 \text{ m}^3/kg$$

Basado en 100 kg de residuos sólidos,  $m^3/kg$

$$\frac{27,86 \text{ m}^3 + 24,37 \text{ m}^3}{100 \text{ kg}} = 0,52 \text{ m}^3/kg$$



# COMPOSTAJE AEROBICO

Se mezclan hojas (C/N = 50) con Fangos de depuradora (C/N =6,3). ¿qué porcentaje de cada uno es Optimo para el compostaje aeróbico?

## Datos que deben conocerse.

Contenido de humedad de los fangos es app = 75% y el de las hojas es de 50%.

Contenido de nitrógeno de los fangos es del 5,6% app y el de las hojas del 0,7% app.

Para 1 Kg de hojas

Agua = 1 kg (0,5) = 0,5 kg  
 Materia seca = 1 kg - 0,5 kg = 0,5 kg  
 N = 0,5 kg (0,007) = 0,0035 kg  
 C = 50(0,0035 kg) = 0,175 kg

Humedad

Para 1 Kg de fangos

Agua = 1 kg (0,75) = 0,75 kg  
 Materia seca = 1 kg - 0,75 kg = 0,25 kg  
 N = 0,25 kg (0,056) = 0,014 kg  
 C = 6,3(0,014 kg) = 0,0882 kg

La cantidad de fangos que se van a añadir a 1 Kg de hojas para lograr una buena relación C/N por ejemplo 25

$$25 = C / H$$

$$25 = \frac{0,175 \text{ kg de C en 1 Kg de Hojas} + x \text{ (C en 1Kg de fangos)}}{0,0035 \text{ Kg de N en 1 Kg de hojas} + X \text{ (N en 1 Kg de fangos)}} = \frac{0.175 + x (0,0882)}{0,0035 + x (0,014)}$$

**X = 0,33 Kg de fangos / 1 Kg de hojas**



- Lixiviabilidad.
- Generación de gases.
- C/N.
- Toxicidad.

Mat. Organica + H<sub>2</sub>O + Nitrientes -----→ Células Nuevas + Mat. Org. Reistente + CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub> + NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>S + Calor

Ca Hb Oc Nd -----→ n(Cw Hx Oy Nz) + m CH<sub>4</sub> + s CO<sub>2</sub> + r H<sub>2</sub>O + (d - nx) NH<sub>3</sub>

Donde:

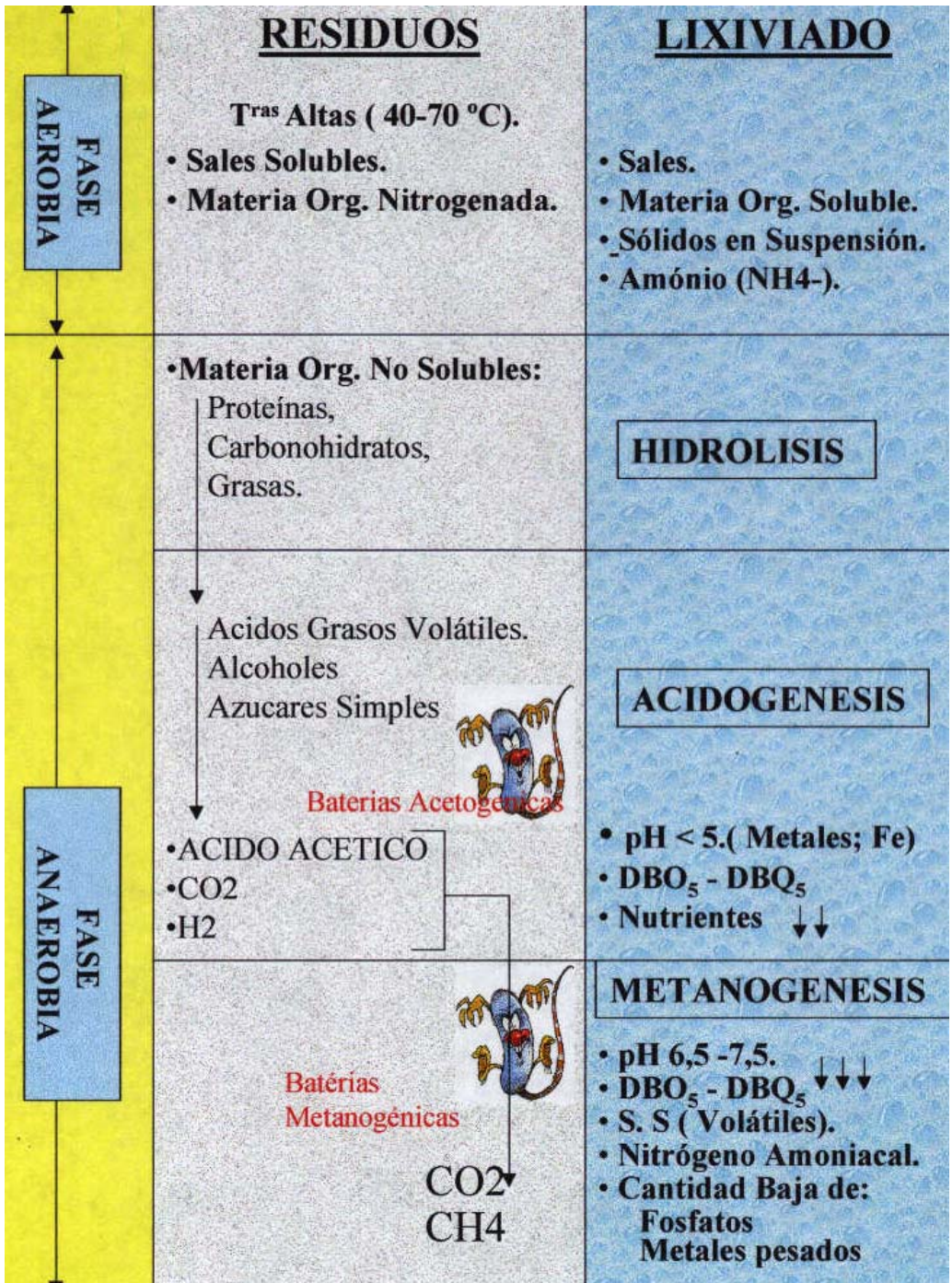
$$s = a - nw - m$$

$$r = c - ny - 2s$$

RESIDUOS ORGANICOS COMPLETAMENTE ESTABILIZADOS

Ca Hb Oc Nd + ((4a-b-2c+3d)/4) H<sub>2</sub>O → ((4a+b-2c-3d)/8) CH<sub>4</sub> + ((4a-b+2c+3d)/8) CO<sub>2</sub> + d NH<sub>3</sub>





**LIXIVIACION**



## CALIDAD DEL LIXIVIADO

### FASE DE DESCOMPOSICION

- ACIDA: Ph ↓ DBO, DQO ↓ ST ↓ Metales Pesados ↑
- METANGENICA: Ph (neutro) DBO, DQO ↓↓ M.Pesados ↓

### TIPO DE RESIDUO DISPUESTO

- Inertes; % Mat. Orgánica; Combustible: RTP.

### EDAD DEL VERTEDERO

- CALIDAD → TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS
- CANTIDAD

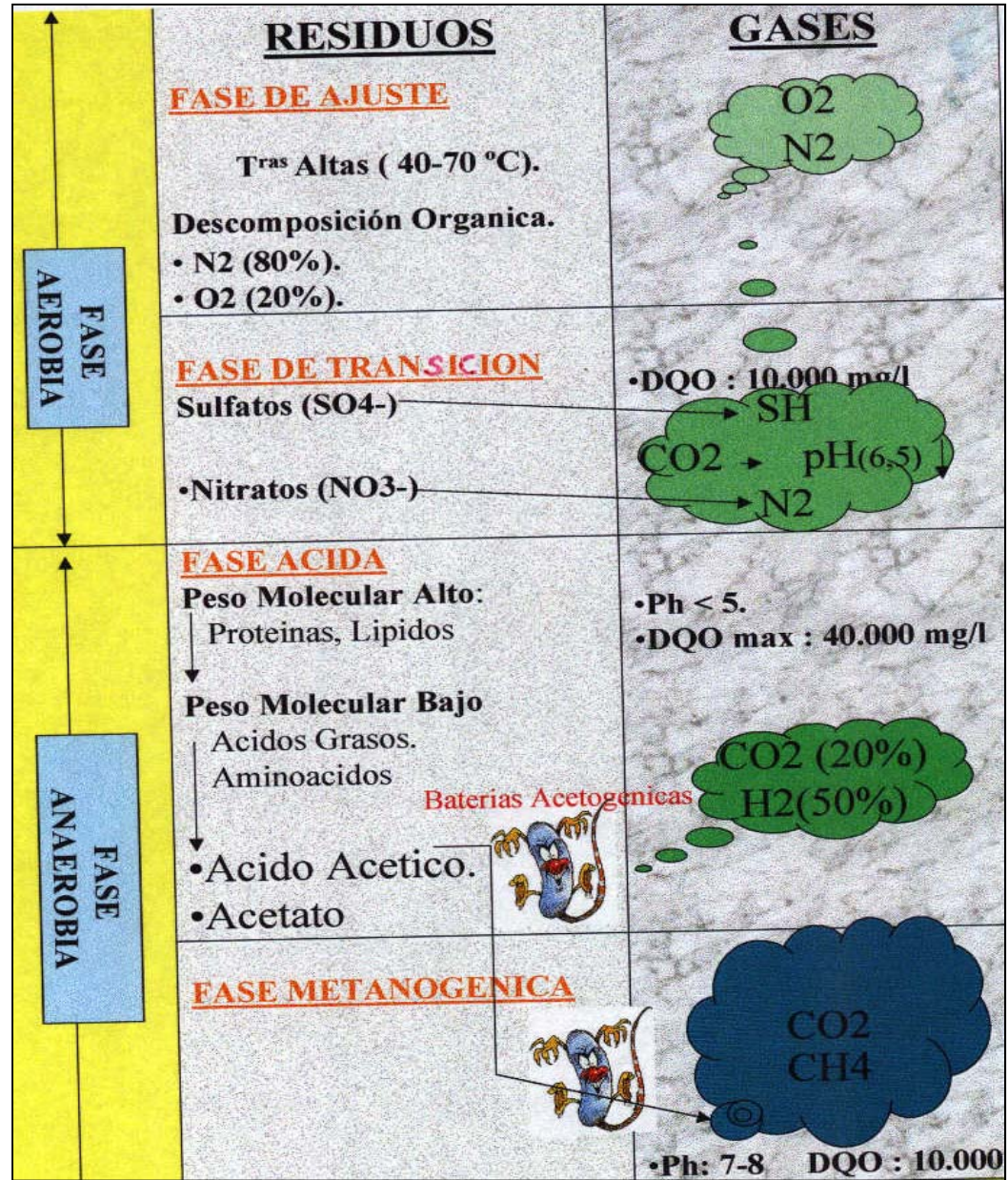
## Datos Típicos Sobre La Composición De Los Lixiviados Mg/l.

| CONSTITUYENTE                             | VERTEDERO NUEVO<br>(menos de 2 años) |        | VERTEDERO<br>ANTIGUO<br>(más de 10<br>años) | AGUA RESIDUAL |
|---|--------------------------------------|--------|---|---------------|
|   | RANGO                                | TIPICO | RANGO                                       | RANGO         |
| DBO5                                      | 2.000-30.000                         | 10.000 | 100-200                                     | 200           |
| DQO                                       | 3.000-60.000                         | 18.000 | 100-500                                     | 500           |
| COT(Carbono<br>Orgánico Total)            | 1.500-20.000                         | 6.000  | 80-160                                      | -             |
| SST(Total de<br>sólidos en<br>suspensión) | 200-2.000                            | 500    | 100-400                                     | 200           |
| Nitrato                                   | 5-40                                 | 25     | 5-10  |               |
| Total de Fósforo                          | 5-100                                | 30     | 5-10  | 10            |
| Conductividad<br>(us/cm)                  | 10-16.000                            | -      | -   | 700           |
| PH  | 4,5-7,5                              | 6      | 6,6-7,5                                     | -             |
| Dureza<br>Total(CaCO3)                    | 300-10.000                           | 3.500  | 200-500                                     | -             |
| Calcio Ca++                               | 200-3.000                            | 1.000  | 100-400                                     | -             |
| Magnesio Mg++                             | 50-1.500                             | 250    | 50-200                                      | 30            |
| Potasio                                   | 200-1.000                            | 300    | 50-400                                      | -             |
| Sodio                                     | 200-2.500                            | 500    | 100-200                                     | -             |
| Cloro Cl -                                | 200-3.000                            | 500    | 100-400                                     | 50            |
| Sulfatos(SO3)                             | 50-1.000                             | 300    | 20-50                                       | -             |
| Total de Hierro                           | 50-1200                              | 60     | 20-200                                      | 0,1           |





# CALIDAD DEL BIOGAS



■ VOLUMEN DEL GAS ( 50% Mat. Org. → 450 – 530 m<sup>3</sup> / Tn con 55% CH<sub>4</sub> )

- Compactación de los residuos, Climatología

- Tipo de Residuo: Materia Orgánica Biodegradable

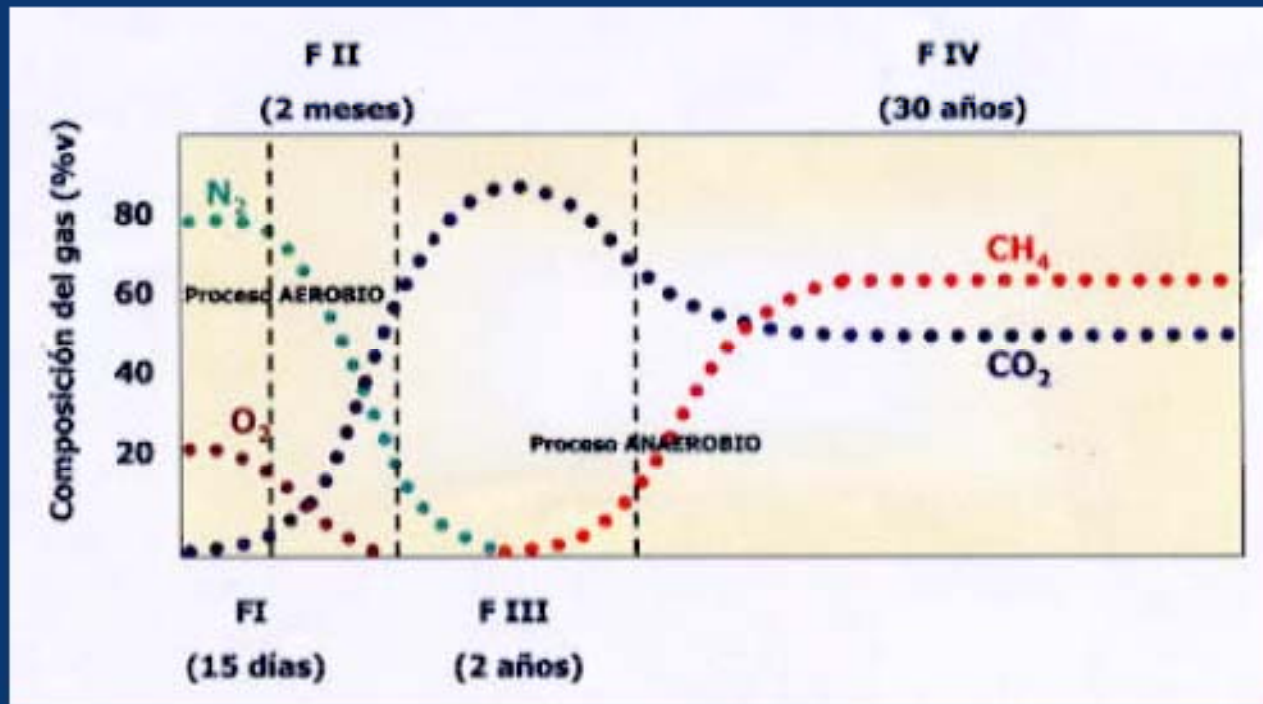
- Antigüedad del Vertedero.

- Humedad ( ≈ 55% ) ; Vertederos momificados (Metanización Renovada)

| Intervalo temporal desde el llenado de la celda, meses | Medio, porcentaje por volumen |                                     |                         |
|--|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
|  | Nitrógeno, N <sub>2</sub>     | Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub> | Metano, CH <sub>4</sub> |
| 0-3  | 5,2                           | 88                                  | 5                       |
| 3-6  | 3,8                           | 76                                  | 21                      |
| 6-12   | 0,4                           | 65                                  | 29                      |
| 12-18  | 1,1                           | 52                                  | 40                      |
| 18-24  | 0,4                           | 53                                  | 47                      |
| 24-30  | 0,2                           | 52                                  | 48                      |
| 30-36  | 1,3                           | 46                                  | 51                      |
| 36-42  | 0,9                           | 50                                  | 47                      |
| 42-48  | 0,4                           | 51                                  | 48                      |

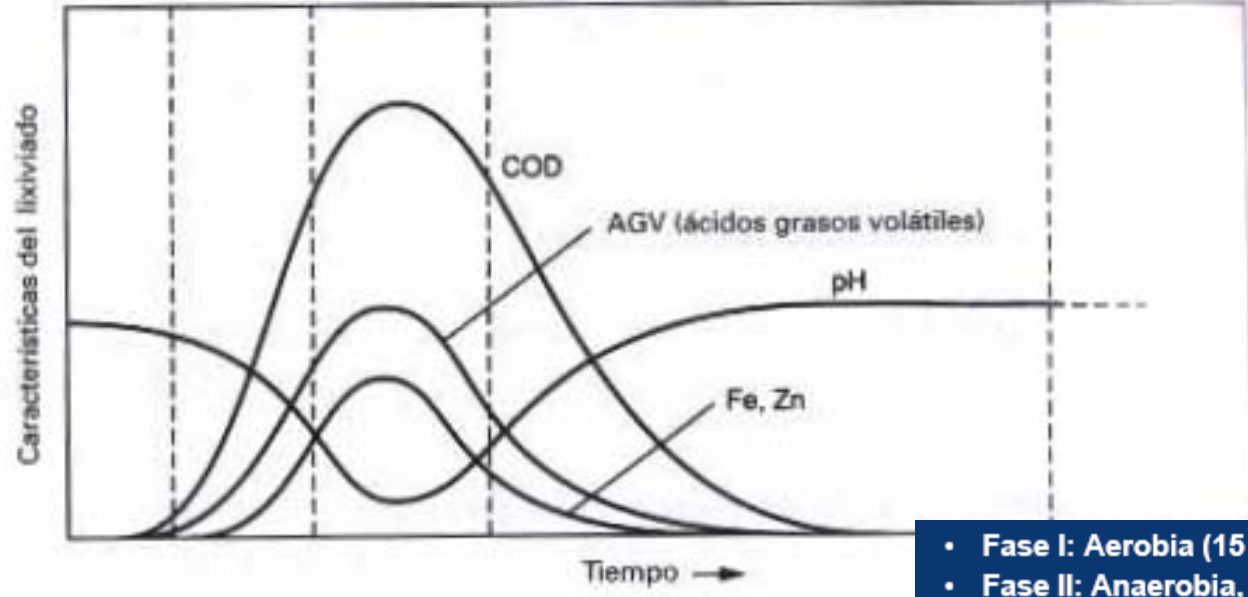
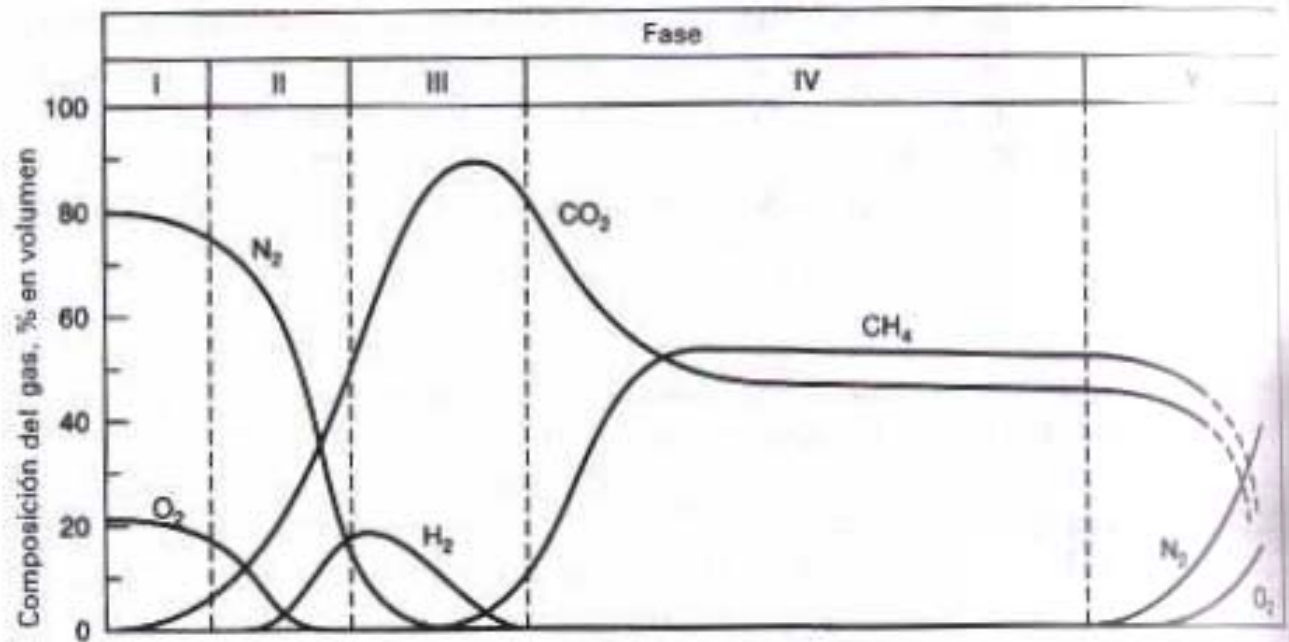


# EVOLUCIÓN DE LA FORMACIÓN DE BIOGÁS



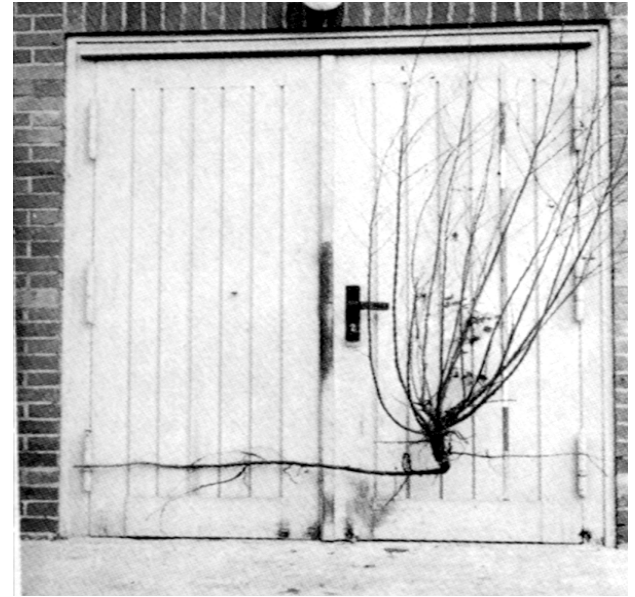
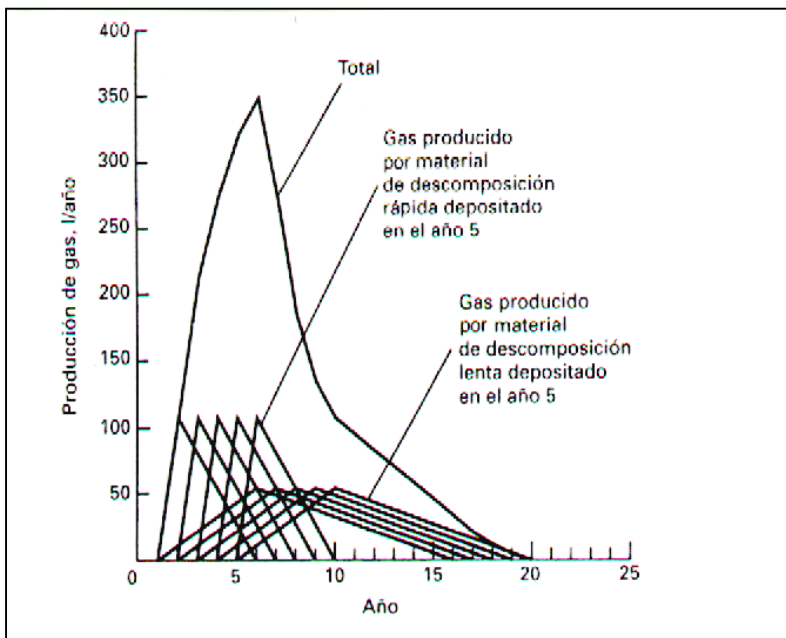
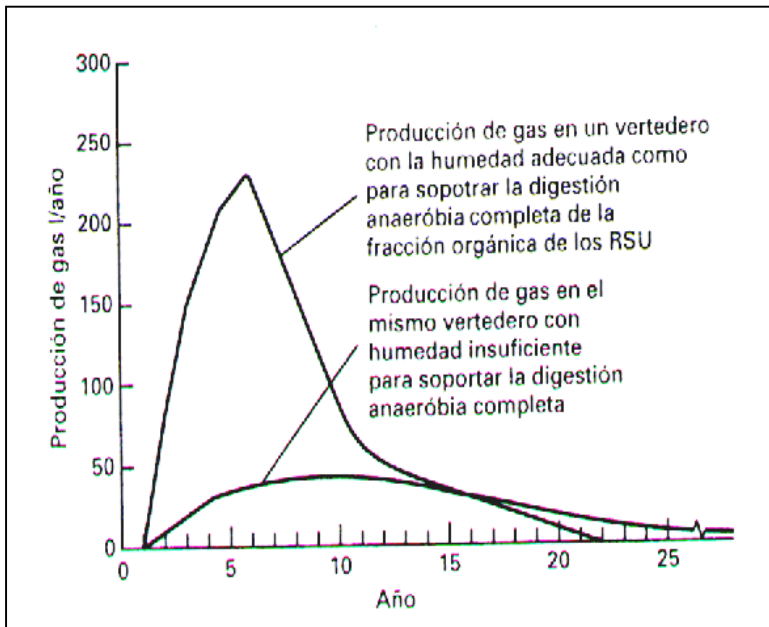
- Fase I: Aerobia (15 días)
- Fase II: Anaerobia, en ausencia de CH<sub>4</sub>
- Fase III: Anaerobia, con formación en aumento de CH<sub>4</sub>
- Fase IV: Anaerobia, de estabilización de CH<sub>4</sub>





- Fase I: Aerobia (15 días)
- Fase II: Anaerobia, en ausencia de  $CH_4$
- Fase III: Anaerobia, con formación en aumento de  $CH_4$
- Fase IV: Anaerobia, de estabilización de  $CH_4$





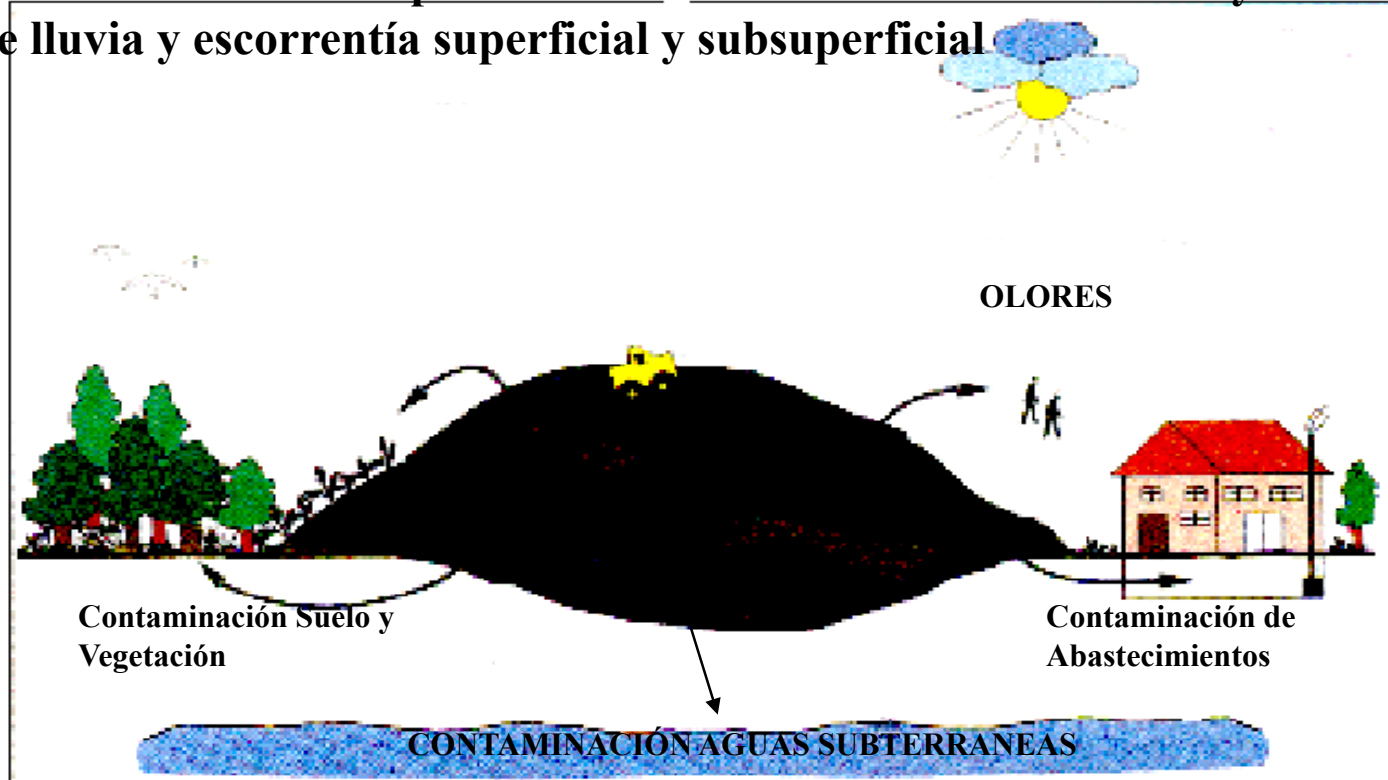
**Arbusto con desarrollo superficial de raíces extraído de la cobertura de un vertedero.**

Neumann y Christensen, 1996



# BALANCE HIDRICO Y MODELOS DE PREDICCIÓN DE BIOGAS Y LIXIVIADO

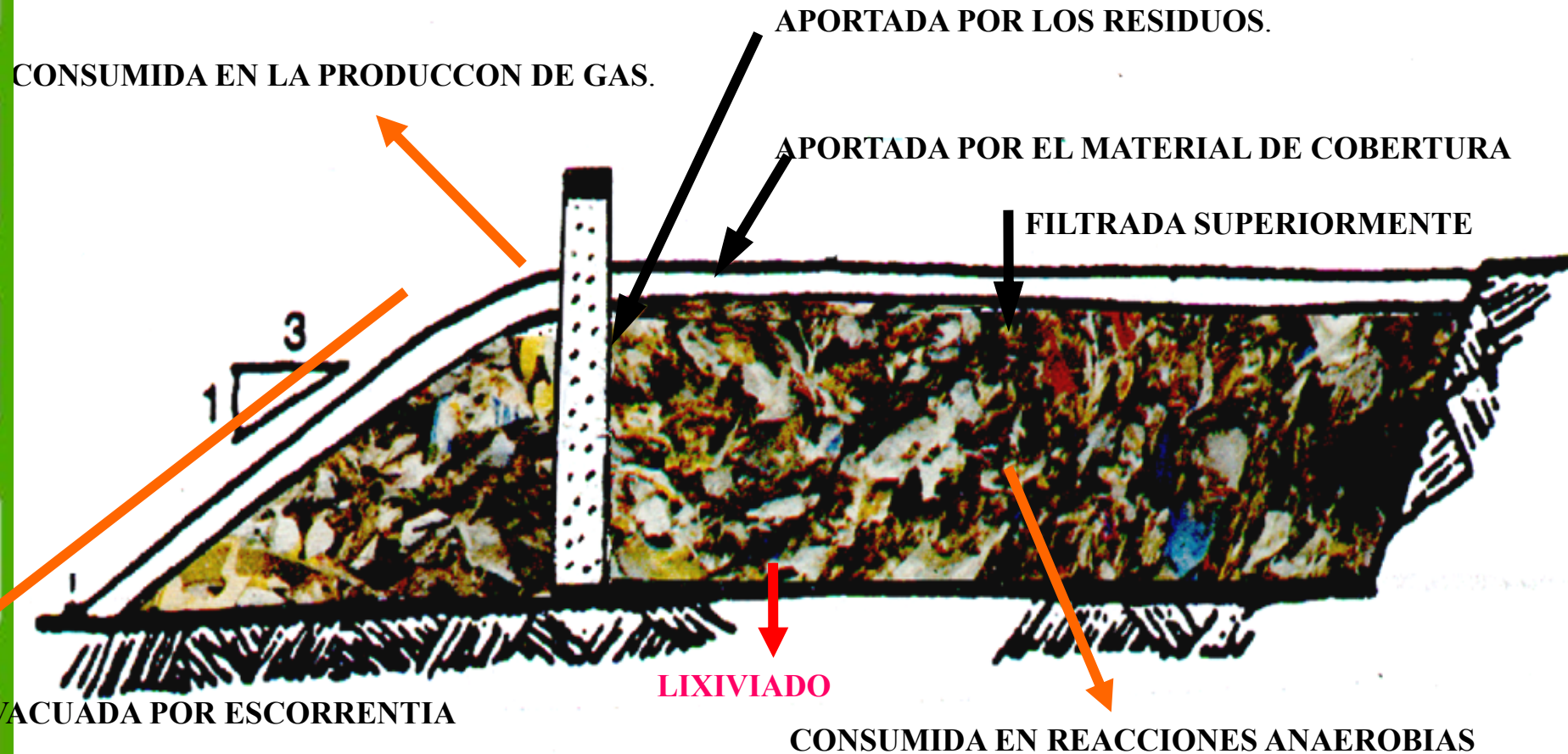
**LIXIVIADOS:** Líquido con altas cargas contaminante producto de la descomposición bioquímica de los residuos producto de la humedad de los residuos y la filtración del agua de lluvia y escorrentía superficial y subsuperficial



- Contaminación aguas subterránea.
- Contaminación aguas superficiales.
- Malos olores.
- Contaminación de la vegetación.
- Contaminación del suelo.
- Proliferación de moscas.



## BALANCE DE AGUAS (CANTIDAD DE LIXIVIADO)



- **CALIDAD** : Composición de los residuos

- **CANTIDAD**:

- Compactación: Homogénea:  $> 0,8 \text{ T/m}^3 \rightarrow 15\% -25\%$  Precipitación  
Heterogénea (Balsas)  $\rightarrow$  Canales  $\rightarrow$  Lavado Masa.

- Balance de Agua: Entrada / Salidas

$$\Delta S_{RS} = W_{RS} + W_{FT} + W_{MC} + W_{A(u)} + W_{GV} + W_E + W_{F(L)}$$

donde:

$\Delta S_{RS}$  = Variación en la cantidad de agua almacenada en los residuos sólidos en el vertedero  $\text{Kg/m}^3$

$W_{RS}$  = Agua (humedad) en los residuos sólidos entrantes,  $\text{Kg/m}^3$

$W_{FT}$  = Agua (humedad) en los fangos de plantas de tratamiento entrantes,  $\text{Kg/m}^3$

$W_{MC}$  = Agua (humedad) en el material de cobertura,  $\text{Kg/m}^3$

$A(u)$  = Agua filtrada superiormente (el agua desde arriba procede de la lluvia o del agua de nieve),  $\text{Kg/m}^3$ )

$W_{GV}$  = Agua perdida en la formación del gas de vertedero,  $\text{Kg/m}^3$

$W_E$  = Agua perdida debido a la evaporación superficial,  $\text{Kg/m}^3$

$W_{F(L)}$  = Agua que sale inferiormente (en la celda localizada directamente por encima de un sistema para la recogida del lixiviado)

La fórmula estequiométrica o química de los residuos asociada a una composición de RSU en vertedero es la siguiente:



A partir de ella y mediante un balance hídrico basado en los conceptos anteriormente redactados se calcula la cantidad de lixiviación generada anualmente.

$$W_p + W_f = E + D_{Sr} + L + W_{gs}$$

Donde:

$W_p$ : Agua aportada por precipitación

$W_f$ : Agua aportada por fermentación.

$E$ : Evapotranspiración.

$D_{Rs}$ : Humedad acumulada en los residuos.

**L: LIXIVIADO**

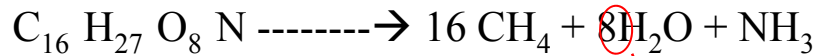
$W_{gs}$ : Agua saturada en Biogás.





Estimación de parámetros:

**Agua por fermentación:** Se calcula a través de descomposición química teórica del residuo, que obedece a la siguiente relación (80% de la descomposición):



Peso molecular de los residuos  $12*16 + 27 + 16*8 + 14 = 361$  (Ton/mol)

| Ton/mes vertedero | RSU (Tmol/mes)     | Agua (Tmol/mes)        | Wf(m3/mes)           |
|-------------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| 6432              | $6432/361 = 17,63$ | $17,63*0,8*8 = 112,83$ | $112,83*18*1 = 2031$ |

Densidad

$H_2O = 2*1 + 16$



## DSr: Agua acumulada en el residuo:

se estima que cierta cantidad de agua que inevitablemente queda contenida en a pesar de la compactación recibida es lo que se denomina capacidad de campo. Esta oscila en los vertederos entre el 25 – 45 % del total del agua que entra con los residuos. En este caso se ha considerado la capacidad de campo en el 30% con lo que el 70% sale al compactar el residuo.

$$\text{DSr} = \text{Cantidad del agua en el residuo mensual} * 0.7 = 6432 \text{ m}^3/\text{mes} * \text{Humedad del residuo} \\ (\text{est.30\%}) * 0,7 = 6432 * 0.3 * 0.7 = 1350,8 \text{ m}^3$$

**Wgs: Agua saturad en biogás.**

$$W_{gs} = Z_{H_2O} * \partial_{\text{biogás}} * B$$

Donde

B= m<sup>3</sup> de biogás extraídos del vertedero por mes.

$$Z_{H_2O} = 0.028$$

Se estima a partir de la Ley de Raoult (Smith y Van Ness, 1989) suponiendo al biogás como gas ideal.

$$Y_{H_2O} * P = X_{H_2O} * P_i \text{ sat}$$

$$Y_{H_2O} + Y_{CO_2} + Y_{CH_4} + Y_{O_2} + Y_{N_2} = 1$$

Siendo:

Y<sub>i</sub> = fracción molar del componente i en el gas.

X<sub>i</sub> = Fracción molar del componente i en el líquido.

P<sub>sat</sub> = presión de saturación del agua a la temperatura de extracción del biogás.

P = Presión de operación del sistema = 1 atm.

A 20°C y 1 atm. La presión de saturación del líquido saturado corresponde a 0,042 atm. Para efecto del calculo puede estimarse que  $X_{H_2O} = 1$ , porque corresponde a la composición líquida de la gota de agua en vapor saturado, luego remplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$Y_{H_2O} = 0.042$$

|     | Yi           | Zi           | Densidad (g/l) |
|-----|--------------|--------------|----------------|
| CH4 | 0.41         | 0.24         | 0.7167         |
| CO2 | 0.29         | 0.48         | 1.9768         |
| H2O | <b>0.042</b> | <b>0.028</b> | 1.000          |
| O2  | 0.035        | 0.041        | 1.4289         |
| N2  | 0.2          | 0.21         | 1.2507         |

Donde Zi corresponde a la fracción en peso de cada componente presente en el biogas. Luego la densidad promedio del biogas se calculo a partir de la siguiente relación:

$$\bar{\rho}_{\text{biogas}} = \sum Z_i * \rho_i$$

donde  $\rho_i$  corresponde a la densidad del componente i

$$\bar{\rho}_{\text{biogas}} = 29.44 \text{ (g/l)} = 0.0294 \text{ (Tn/m}^3\text{)}$$







Agua saturad en biogás.

$$W_{gs} = Z_{H_2O} * \partial_{biogas} * B$$

Donde

B= m<sup>3</sup> de biogas extraidos del vertedero por mes.

$$Z_{H_2O} = 0.028$$

### EJEMPLO

Según las tablas de biogás (anejo calculo de biogás) una media de generación de biogas anual es de de 6853526,13 m<sup>3</sup>. Al mes se producirán 571127 m<sup>3</sup>. Luego Wgs mensual estimada es:

$$W_{gs} = 571127 * 0.028 * 0.0294 = 470 \text{ m}^3$$

**EXPRESANDO EL CUADRO RESUMEN DE LA GENERACIÓN DE LIXIVIACIÓN  
OBTENEMOS:**

|                           | Septiembre | Octubre   | Noviembre | Diciembre | Enero     | Febrero   | Marzo     |
|---------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| P (mm)                    | 28         | 54,3      | 57,3      | 76,2      | 74,9      | 79,5      | 83,4      |
| ET(mm)                    | 112,4      | 62,2      | 28,9      | 15,6      | 14,4      | 18,6      | 33,1      |
| SUP.                      | 58272,0    | 58272,0   | 58272,0   | 58272,0   | 58272,0   | 58272,0   | 58272,0   |
| Wp (litros)               | 1631616,0  | 3164169,6 | 3338985,6 | 4440326,4 | 4364572,8 | 4632624,0 | 4859884,8 |
| Wf(litros)                | 1835000    | 1835000   | 1835000   | 1835000   | 1835000   | 1835000   | 1835000   |
| DSr (litros)              | 1207710    | 1207710   | 1207710   | 1207710   | 1207710   | 1207710   | 1207710   |
| ETR (mm)                  | 28         | 54,3      | 28,9      | 15,6      | 14,4      | 18,6      | 33,1      |
| ETR(litros)               | 1631616    | 3164169,6 | 1684060,8 | 909043,2  | 839116,8  | 1083859,2 | 1928803,2 |
| Wgs                       | 470000     | 470000    | 470000    | 470000    | 470000    | 470000    | 470000    |
| LIXIVIACIÓN<br>(litros)   | 157290,0   | 157290,0  | 1812214,8 | 3688573,2 | 3682746,0 | 3706054,8 | 3088371,6 |
| lixiviación (m3) /<br>año | 157,29     | 157,29    | 1812,2148 | 3688,5732 | 3682,746  | 3706,0548 | 3088,3716 |

# EXPRESANDO EL CUADRO RESUMEN DE LA GENERACIÓN DE LIXIVIACIÓN

OBTENEMOS:

|                        | Septiembre | Octubre   | Noviembre | Diciembre | Enero     | Febrero   | Marzo     |
|------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| P (mm)                 | 28         | 54,3      | 57,3      | 76,2      | 74,9      | 79,5      | 83,4      |
| ET(mm)                 | 112,4      | 62,2      | 28,9      | 15,6      | 14,4      | 18,6      | 33,1      |
| SUP.                   | 58272,0    | 58272,0   | 58272,0   | 58272,0   | 58272,0   | 58272,0   | 58272,0   |
| Wp (litros)            | 1631616,0  | 3164169,6 | 3338985,6 | 4440326,4 | 4364572,8 | 4632624,0 | 4859884,8 |
| Wf(litros)             | 1835000    | 1835000   | 1835000   | 1835000   | 1835000   | 1835000   | 1835000   |
| DSr (litros)           | 1207710    | 1207710   | 1207710   | 1207710   | 1207710   | 1207710   | 1207710   |
| ETR (mm)               | 28         | 54,3      | 28,9      | 15,6      | 14,4      | 18,6      | 33,1      |
| ETR(litros)            | 1631616    | 3164169,6 | 1684060,8 | 909043,2  | 839116,8  | 1083859,2 | 1928803,2 |
| Wgs                    | 470000     | 470000    | 470000    | 470000    | 470000    | 470000    | 470000    |
| LIXIVIACIÓN (litros)   | 157290,0   | 157290,0  | 1812214,8 | 3688573,2 | 3682746,0 | 3706054,8 | 3088371,6 |
| lixiviación (m3) / año | 157,29     | 157,29    | 1812,2148 | 3688,5732 | 3682,746  | 3706,0548 | 3088,3716 |

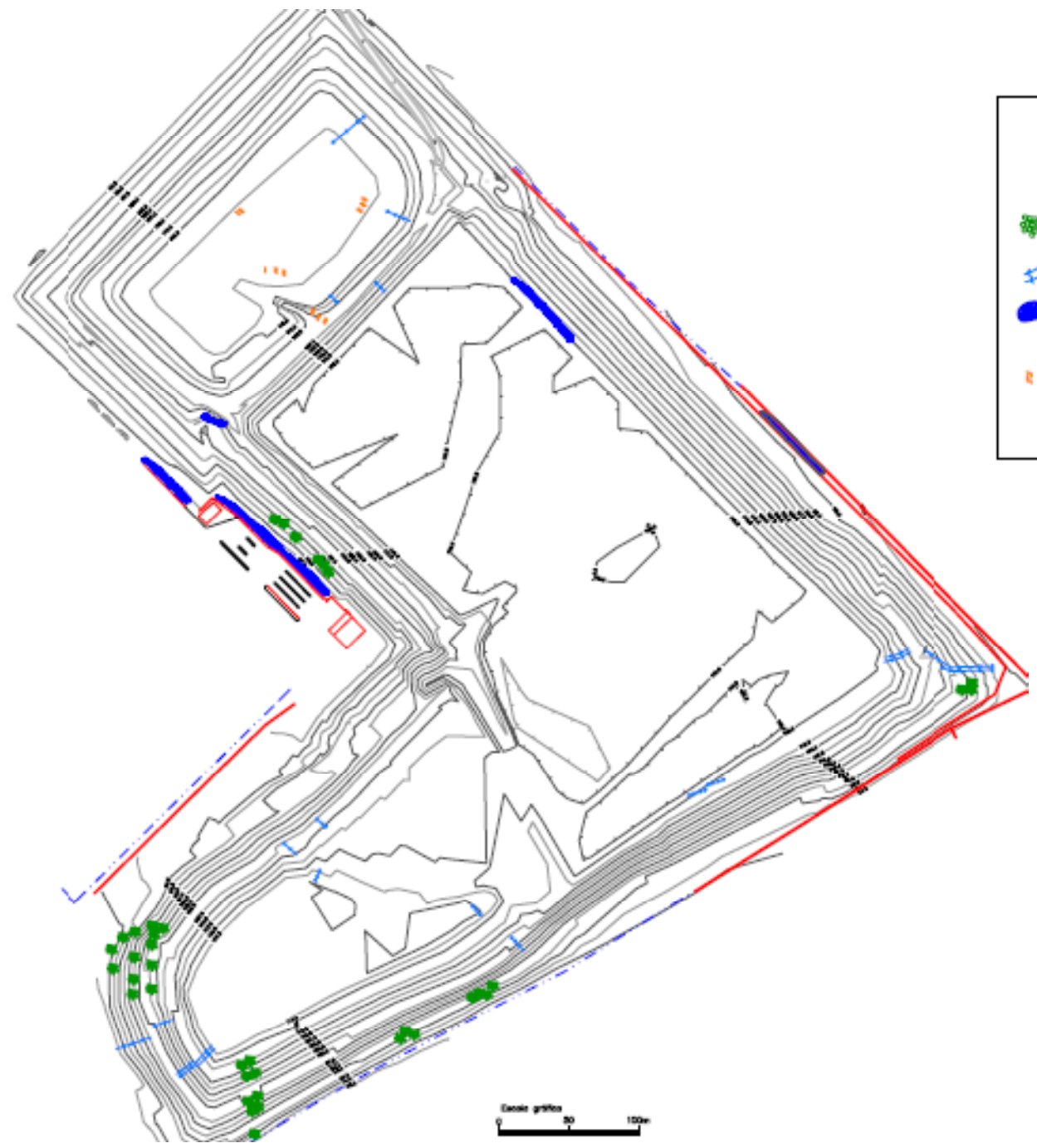
| Abril     | Mayo      | Junio     | Julio    | Agosto   | TOTALES       |                        |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|---------------|------------------------|
| 61,1      | 48,7      | 20,2      | 4,3      | 4,7      | 592,6         | P (mm)                 |
| 53,1      | 86,1      | 133,5     | 179,6    | 168,1    |               | ET(mm)                 |
| 58272,0   | 58272,0   | 58272,0   | 58272,0  | 58272,0  | 58272,0       | SUP.                   |
| 3560419,2 | 2837846,4 | 1177094,4 | 250569,6 | 273878,4 |               | Wp (litros)            |
| 1835000   | 1835000   | 1835000   | 1835000  | 1835000  |               | Wf(litros)             |
| 1207710   | 1207710   | 1207710   | 1207710  | 1207710  |               | DSr (litros)           |
| 53,1      | 48,7      | 20,2      | 4,3      | 4,7      |               | ETR (mm)               |
| 3094243,2 | 2837846,4 | 1177094,4 | 250569,6 | 273878,4 |               | ETR(litros)            |
| 470000    | 470000    | 470000    | 470000   | 470000   |               | Wgs                    |
| 623466,0  | 157290,0  | 157290,0  | 157290,0 | 157290,0 | 17545166,4    | LIXIVIACIÓN (litros)   |
| 623,466   | 157,29    | 157,29    | 157,29   | 157,29   | <b>17.545</b> | lixiviación (m3) / año |





LEYENDA

- CAÑIZOS
- CÁRCAVAS
- REZUMES DE LIXIVIADOS
- GRIETAS CON PRESENCIA DE GAS



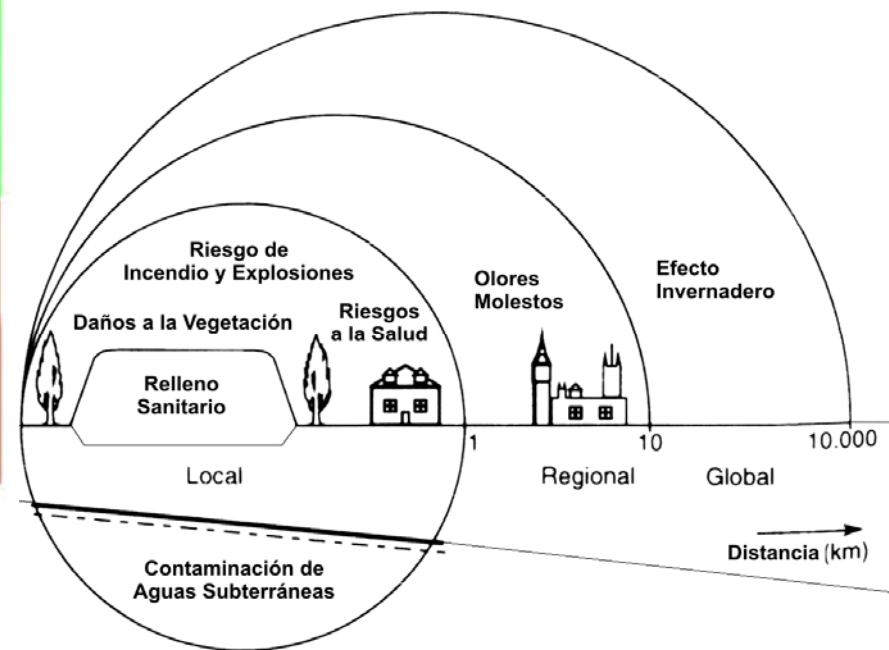
Escala gráfica  
0 50 100m

• SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTO

# R.D. 1481/2001 DESARROLLO TÉCNICO

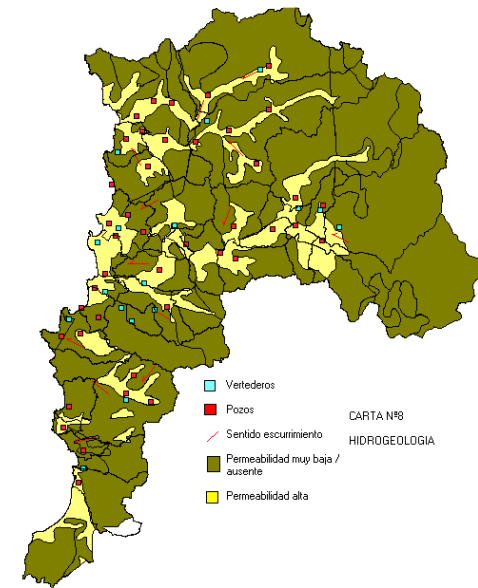
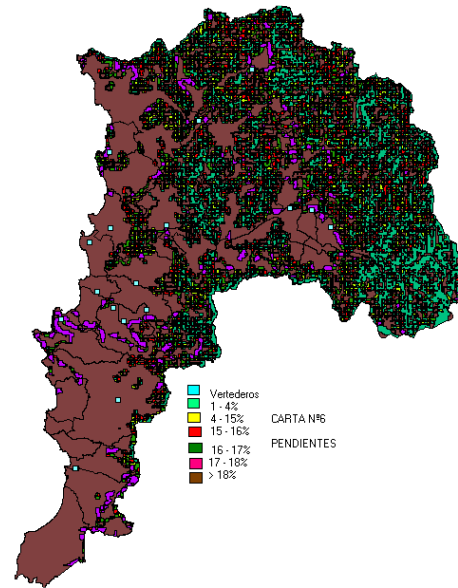
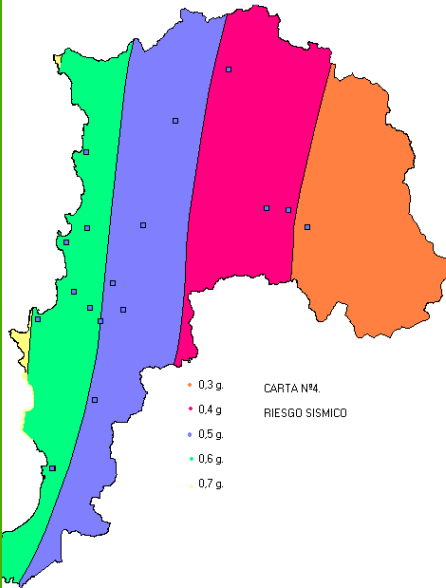
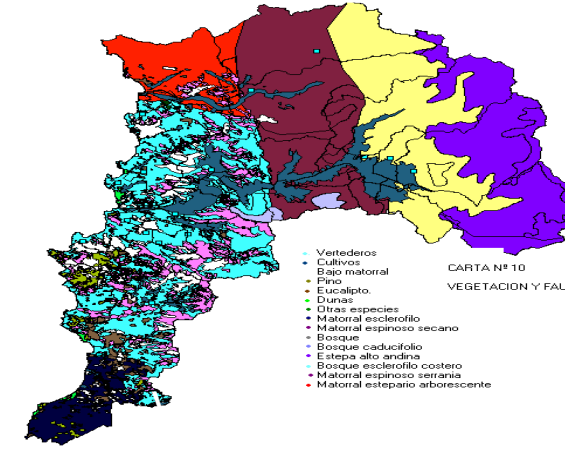
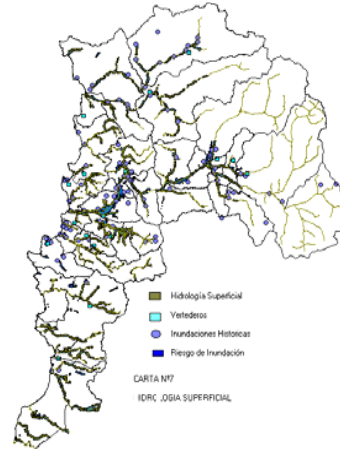
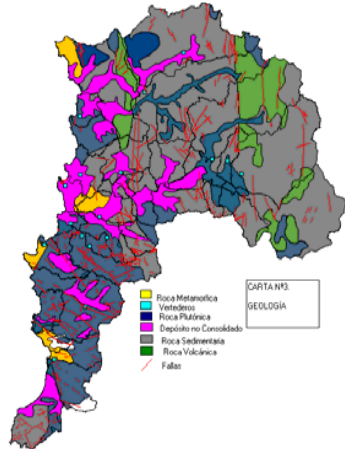
## 1 Restricciones a la ubicación de vertederos

### 2. Limitaciones a la ubicación de vertederos



# Aplicación de la metodología localización

Valoración ambiental de parámetros: Caracterización de distanciamiento de vertereros a características de factores ambientales y socio políticos de la zona





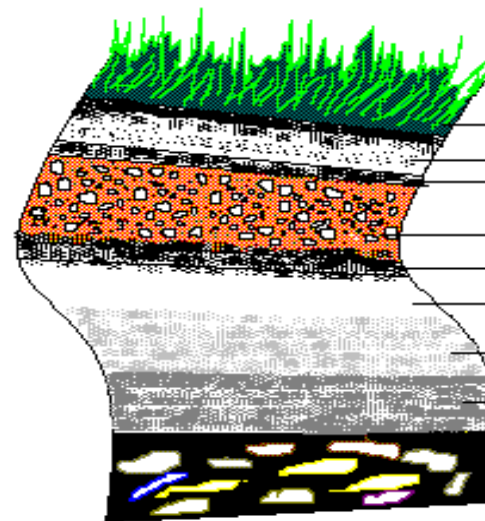


| NC (No se considera)                  |  |   | IDONEIDAD       |             |             |             |         |
|---------------------------------------|--|---|-----------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| VALOR                                 |  |   | NC              | 1           | 5           | 10          | 15      |
| Objetivo nivel 1                      | Objetivo nivel 2                           | Objetivo nivel 3                          | RADIO EXCLUSIÓN | CLASE 1     | CLASE 2     | CLASE 3     | CLASE 4 |
| CONSERVACIÓN SALUD Y SEGURIDAD        | Calidad de aguas de abastecimiento y riego | Protección pozos captación subterránea    | 1.000           | 1000 - 1200 | 1200 1400   | 1400 – 1600 | > 1600  |
|                                       |  | Protección canales de regadío             | 1.000           | 1000 - 1200 | 1200 1400   | 1400 – 1600 | > 1600  |
|                                       |  | Protección cuerpos de agua                | 1.000           | 1000 - 1200 | 1200 1400   | 1400 - 1600 | > 1600  |
|                                       |  | Protección acuíferos                      | 100             | 100 - 300   | 300 - 600   | 600 – 900   | > 900   |
|                                       |  | Favorecer menor precipitación media en mm | NC              | 1000 -700   | 700 - 500   | 500 - 250   | < 250   |
|                                       | Calidad aire                               | Protección áreas pobladas                 | 2000            | 2000 - 2100 | 2100 – 2200 | 2200 – 2300 | > 2300  |
|                                       | Evitar riesgos naturales                   | Favorecer menor sismicidad                | NC              | 0,7 / 0,6   | 0,5         | 0,4         | < 0,4   |
|                                       |  | Favorecer menor pendiente (%)             | NC              | > 25        | 15 - 25     | 8 - 15      | 0 – 8   |
|                                       |  | Favorecer menor precip. mínima 24 h mm    | NC              | 140 / 120   | 100 / 90    | 90 / 80     | 70      |
|                                       |  | Protección Contra Inundación              | 500             | NC          | NC          | NC          | NC      |
|                                       |  | Protección contra fallas                  | 100             | 100 – 150   | 150 – 800   | 800 1600    | > 1600  |
|                                       | Conservar seguridad                        | Favorecer menor elevación                 | NC              | 1500 - 2000 | 1500 - 1000 | 1000 -500   | < 500   |
|                                       |  | Protección aeropuertos                    | 3000            | NC          | NC          | NC          | NC      |
|                                       |  | Protección aeródromos                     | 1500            | NC          | NC          | NC          | NC      |
|                                       |  | Protección subestaciones eléctricas       | 1000            | NC          | NC          | NC          | NC      |
|                                       |  | Protección Redes de alta tensión          | 100             | NC          | NC          | NC          | NC      |
|                                       |  | Protección Oleoductos                     | 100             | NC          | NC          | NC          | NC      |
|                                       |  | Protección Gaseoductos                    | 100             | NC          | NC          | NC          | NC      |
|                                       |  | Protección Red vial principal             | 500             | NC          | NC          | NC          | NC      |
|                                       |  | Protección Red vial secundaria            | 300             | NC          | NC          | NC          | NC      |
| Protección Red ferrocarril            |  | 500                                       | NC              | NC          | NC          | NC          |         |
| Protección Red ferrocarril proyectada | 500  | NC  | NC              | NC          | NC          |             |         |

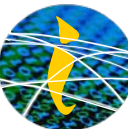


|                                  |   |   |       |             |             |             |            |
|----------------------------------|---|---|-------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Conservar medio natural          | Proteger Ecosistemas de Alta Fragilidad   | Zonas Protegidas (espacios naturales)   | 2000  | 2100 - 3000 | 3100 - 3200 | 3200 – 3300 | > 3300     |
|                                  |   | Favorecer menor cobertura vegetal   | NC    | 70 – 100%   | 40 – 70%    | 10 – 40%    | 1 – 10%    |
|                                  | Conservar recursos forestales y agrícolas | Desfavorecer bosques plantados  | NC    | Bosque      |             |             | No Bosque  |
|                                  |   | Desfavorecer usos en zonas de cultivo   | NC    | Cultivos    |             |             | No Cultivo |
|                                  | Conservar recursos de aguas superficiales | Proteger hidrología Principal   | 1.000 | 1000 - 1200 | 1200 1400   | 1400 - 1600 | > 1600     |
|                                  |   | Proteger cuerpos de agua  | 1.000 | 1000 - 1200 | 1200 1400   | 1400 - 1600 | > 1600     |
|                                  | Conservar recursos de Ag. Subterráneas    | Favorecer Baja importancia hidrogeológica   | NC    | Alta-Media  | Media       | Baja        | Muy Baja   |
|                                  |   | Favorecer baja permeabilidad  | NC    | Primaria    |             |             | Escasa     |
|                                  |   | Suelos Carsticos / Sedimentos importante permeabilidad / Rocas con permeabilidad por fisuración (ígneas y metamórficas) | 100   | 100 - 200   | 200 - 300   | 300 – 400   | > 400      |
|                                  |   | Humedales   | 1000  | NC          | NC          | NC          | NC         |
| Conservar Medio Socio - Cultural | Conservar Patrimonio Cultural             | Conservar Recursos Turísticos / Arquitectónico / Arqueológico   | 2000  | NC          | NC          | NC          | NC         |
| Costos de Construcción           | Reducir Costos de Construcción            | Favorecer Menor Pendiente   | NC    | > 25%       | 25 – 20%    | 20 – 8%     | 8 – 1 %    |
|                                  | Reducir Costos de Cobertura               | Favorecer depósitos aptos para cobertura  | NC    | > 2000      | 2000 - 1000 | 1000 - 500  | < 500      |

| CLASE DE VERTEDERO                             | NO PELIGROSO      | PELIGROSO  |
|--|-------------------|------------|
| Capas de drenaje de gases                      | Exigida           | No Exigida |
| Revestimiento de impermeabilización artificial | <b>No Exigida</b> | Exigida    |
| Capa mineral impermeable.                      | Exigida           | Exigida    |
| Capa drenaje > 0,5 mts.                        | Exigida           | Exigida    |
| Cobertura superior de tierra > 1 mts.          | Exigida           | Exigida    |



- VEGETACIÓN
- CAPA DE SOPORTE VEGETATIVO
- FILTRO GEOTEXTIL
- CAPA DE DRENAJE LATERAL
- CAPA BARRERA DE GEOMEMBRANA
- CAPA BARRERA DE ARCILLA COMPACTADA
- CAPA DE RECOGIDA DE GASES
- CAPA DE SUB-BASE
- RESIDUO





# CONTROL DE CALIDAD

LA CAPA SELLADO e IMPERMEABILIZACION DEBE RESPONDER EN SU DISEÑO A LAS SIGUIENTES PREGUNTAS:

1.- **TIPOLOGIA DE RESIDUOS?**

- BIODEGRADABILIDAD.
- GENERACION DE GASES.

2.- CUALES SON LAS **CONDICIONES DE COMPACTACIÓN DE LOS RESIDUOS?**

- ESTIMACION DE ASENTAMIENTOS.
- ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD MEDIA DE LA MASA DE RESIDUOS.

3.- CLIMATOLOGIA EXISTE (PRECIPITACIONES ANUALES)?

4.- CUÁL ES EL **USO PREVISTO** PARA LA ZONA A REINSERTAR?

- CAPACIDAD PORTANTE.
- ESTUDIO DE REVEGETACIÓN - PAISAJISMO.

5.- **EXISTEN BARRERAS DE IMPERMEABILIZACIÓN Y DE DRENAJE?**

- DETERMINAN LA NECESIDAD DE MEDIDAS EXTRAS A LA CAPA DE SELLADO.
  - BARRERAS DE CONTENCIÓN DE PLUMAS DE LIXIVIADOS.
  - IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE DRENAJE DE LIXIVIACIÓN
    - Drenes horizontales.
    - Bombas de extracción.
    - Drenes en superficie de regularización.
    - Drenes en la propia capa de sellado.

**RESPUESTA:** CADA VERTEDERO DEBE CONTENER UN DISEÑO DE LA CAPA DE SELLADO ESPECÍFICO DEPENDIENDO DE SU DINAMICA AMBIENTAL.  
DIAGNOSTICO - ESTUDIO DE CAUSA EFECTO

recomendaciones.....



REDICMA

# Estabilidad de los vertederos

## COEFICIENTES DE SEGURIDAD MÍNIMOS REQUERIDOS EN EL PROYECTO DE ESCOMBRERAS

-Tabla simplificada- Ayala Caicedo F.J., Rodríguez Ortiz, J.M. 1986

|   | F3                             | F2   | F1   |
|---|--------------------------------|------|------|
| <b>CASO I</b>   |                                |      |      |
| Implantaciones sin riesgo para personas, instalaciones o servicios. |                                |      |      |
| H ≤ 15 m  | Angulo de vertido por gravedad |      |      |
| 15 < H ≤ 30 m   | -                              | 1,20 | 1,10 |
| H > 30 m  | -                              | 1,30 | 1,20 |
| <b>CASO II</b>  |                                |      |      |
| Implantaciones con riesgo moderado                                  |                                |      |      |
| H ≤ 15 m  | 1,20                           | 1,15 | 1,00 |
| 15 < H ≤ 30 m   | 1,35                           | 1,25 | 1,10 |
| H > 30 m  | 1,45                           | 1,30 | 1,15 |
| <b>CASO III</b>   |                                |      |      |
| Implantaciones con riesgo elevado                                   |                                |      |      |
| No se admiten escombreras sin contención al pie                     |                                |      |      |
| H ≤ 25 m  | 1,40                           | 1,20 | 1,10 |
| H > 20 m  | 1,60                           | 1,40 | 1,20 |

F1: escombreras sin nivel freático, y en cuya estabilidad no interviene el cimiento.

F2: escombreras sometidas a filtración, agua en grietas y riesgo de deslizamiento por la cimentación.

F3: situaciones excepcionales de inundación, riesgo sísmico, etc.

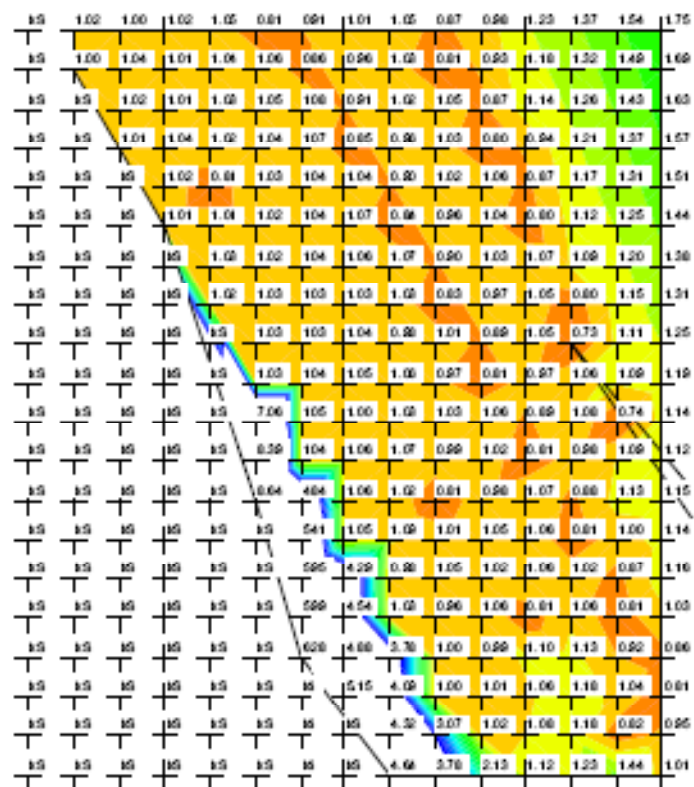
Tabla 1. Factores de seguridad propuestos por Ayala, C. y Rodríguez O. 1986.

| RIESGO | TIPO DE VERTEDERO |              |           |
|--------|-------------------|--------------|-----------|
|        | INERTE            | NO PELIGROSO | PELIGROSO |
| Bajo   | 1,30              | 1,40         | 1,50      |
| Medio  | 1,40              | 1,50         | 1,60      |
| Alto   | 1,50              | 1,60         | 1,80      |

Tabla 2. Coeficientes de seguridad propuestos por la Subdirección General de Calidad Ambiental del MOPTMA.

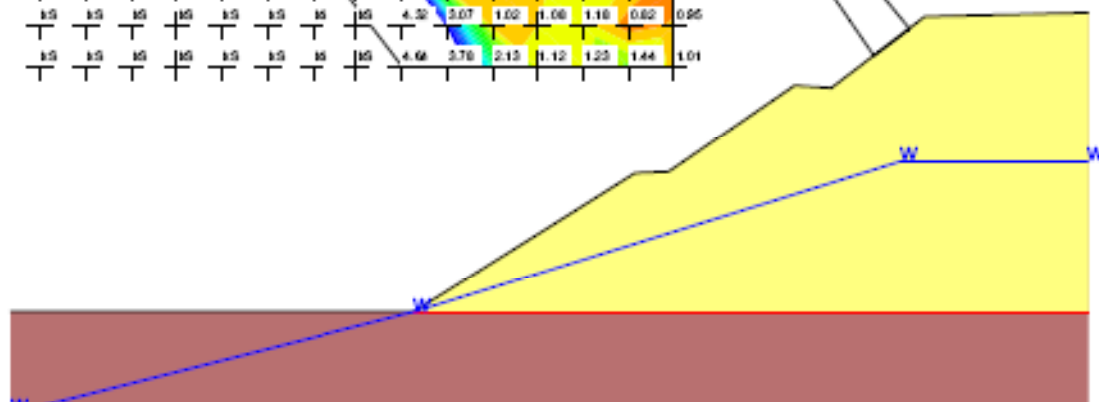
|                                       | Vertedero de alta densidad |                         | Vertedero de Voluminosos | Vertedero de Cenizas        | Tierras compactadas en Caballones |
|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
|                                       | Nivel 1 Superficial        | Nivel 2 Profundo        |                          |                             |                                   |
| Media $N_{qps}$                       | 5                          | 15                      | 8                        | 10                          | --                                |
| Compacidad                            | Suelta                     | Medianamente Densa      | Suelta                   | Suelta – Medianamente Densa | Densa – Muy Densa                 |
| Angulo de rozamiento Interno - $\phi$ | 28°                        | 31°                     | 29°                      | 30°                         | 29°                               |
| Módulo de Young                       | 35 kp/cm <sup>2</sup>      | 105 kp/cm <sup>2</sup>  | 56 kp/cm <sup>2</sup>    | 70 kp/cm <sup>2</sup>       | 500-700 kp/cm <sup>2</sup>        |
| Densidad - $\gamma$                   | 6,86 kN/m <sup>3</sup>     | 6,86 kN/m <sup>3</sup>  | 14,72 kN/m <sup>3</sup>  | 20,0 kN/m <sup>3</sup>      | 19,61 kN/m <sup>3</sup>           |
| Cohesión - c                          | 12,26 kN/m <sup>2</sup>    | 12,26 kN/m <sup>2</sup> | 0 kN/m <sup>2</sup>      | 24,52 kN/m <sup>2</sup>     | 12,26 kN/m <sup>2</sup>           |

Tabla 6. Parámetros geotécnicos para el cálculo de la estabilidad.

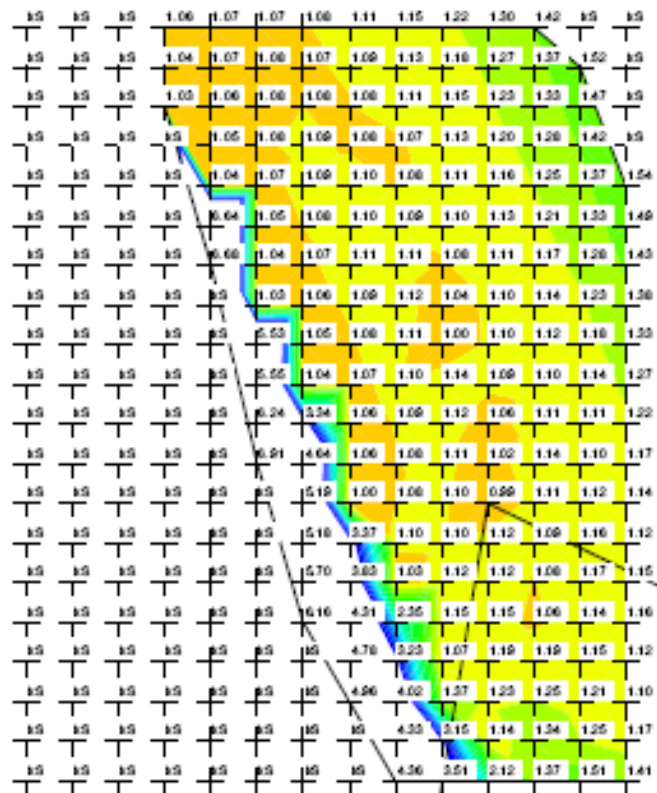


| Soil | $\phi$<br>[°] | c<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Y<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | pw<br>[-] | Designation     |
|------|---------------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------------|
|      | 31.00         | 150.00                    | 20.59                     | 0.00      | Terreno Natural |
|      | 29.00         | 0.00                      | 14.72                     | 0.00      | Voluminosos     |

Basic calculation data  
 $r_{ps} = 0.73$   
 $r_{cs} = 20.82$  m  
 $r_{cs} = 166.05$  m  
 $R = 63.12$  m

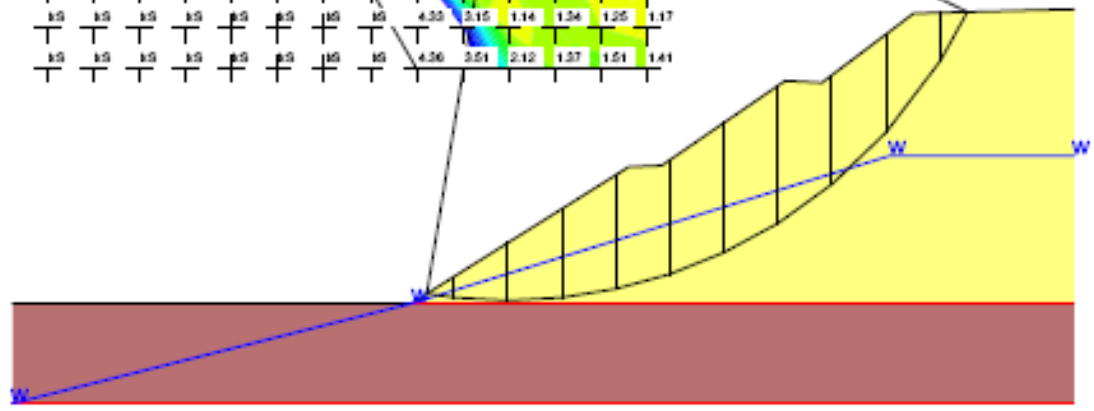






| Soil | $\phi$<br>[°] | c<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $\rho_w$<br>[-] | Designation     |
|------|---------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
|      | 31.00         | 150.00                    | 20.59                            | 0.00            | Terrazo Natural |
|      | 29.00         | 0.00                      | 14.72                            | 0.00            | Voluminoso      |

Basic calculation data  
 $r_{ps} = 0.59$   
 $x_{ps} = 12.24$  m  
 $y_{ps} = 146.79$  m  
 $R = 63.80$  m

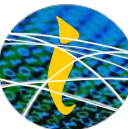


recomendaciones..... Que buscan:

- 1.- MINIMIZAR EL PERIODO EN QUE UN VERTEDERO REPRESENTA UN RIESGO PARA LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE.
- 2.- INTRODUCIR EN LA MASA DE RESIDUOS UNAS CONDICIONES QUE FAVOREZCAN EL DESARROLLO DE PROCESOS FÍSICOS - QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS
  - ESTABILIZACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PELIGROSOS.
  - MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.
  - CESACIÓN DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DE LA LIXIVIACIÓN Y GASES
  - CESACIÓN DE ASENTAMIENTOS.
- 3.- AISLAR LOS PROCESOS INTERNOS DE LA DINÁMICA DE LA MASA DE RESIDUOS DE USO DE REINSERCIÓN.

EL PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN CLAUSURA-SELLADO PROPONDRÁ ADEMÁS DE LA SOLUCIÓN DE DISEÑO, EL PROCESO CONSTRUCTIVO QUE GARANTICE LA INTEGRIDAD A MEDIO Y LARGO PLAZO DEL SISTEMA ....

....necesidad de un **PLAN DE CALIDAD DE  
LOS MATERIALES**



REDICMA

## EL PLAN DE CALIDAD (VRI) EN TERMINOS DE ESTABILIDAD E INTEGRIDAD DE LA MASA DE RESIDUOS Y CAPAS DE SELLADO :

1.- CONJUNTO RESIDUOS - CAPAS DE SELLADO SEA ESTABLE

2.- EN LA CAPA DE SELLADO SE COMPROBARÁN ASIENTOS

3.- COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD

- ESTABILIDA DEL CONJUNTO VERTEDERO - TERRENO.
- ESTABILIDAD INTERNA DE LA MASA DE RESIDUOS.
- ESTABILIDA LOCAL DE LA CAPA DE SELLADO POR DESLIZAMIENTO DEL CONTACTO DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS DEL SELLADO.

4- PARA ESTAS COMPROBACIONES SE CONSIDERAN:

- RESISTENCIA AL CORTE DE LOS RESIDUOS
- RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO ENTRE GEOSINTETICOS Y GEO -SUELO
- COMPROBACIÓN DE CAPACIDAD DRENANTE DE UN GEOCOMPUESTOS DE DRENAJE.
- PARÁMETROS RESISTENTES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS





## OBJETO DE LAS ACTUACIONES DE CONTROL DE CALIDAD:

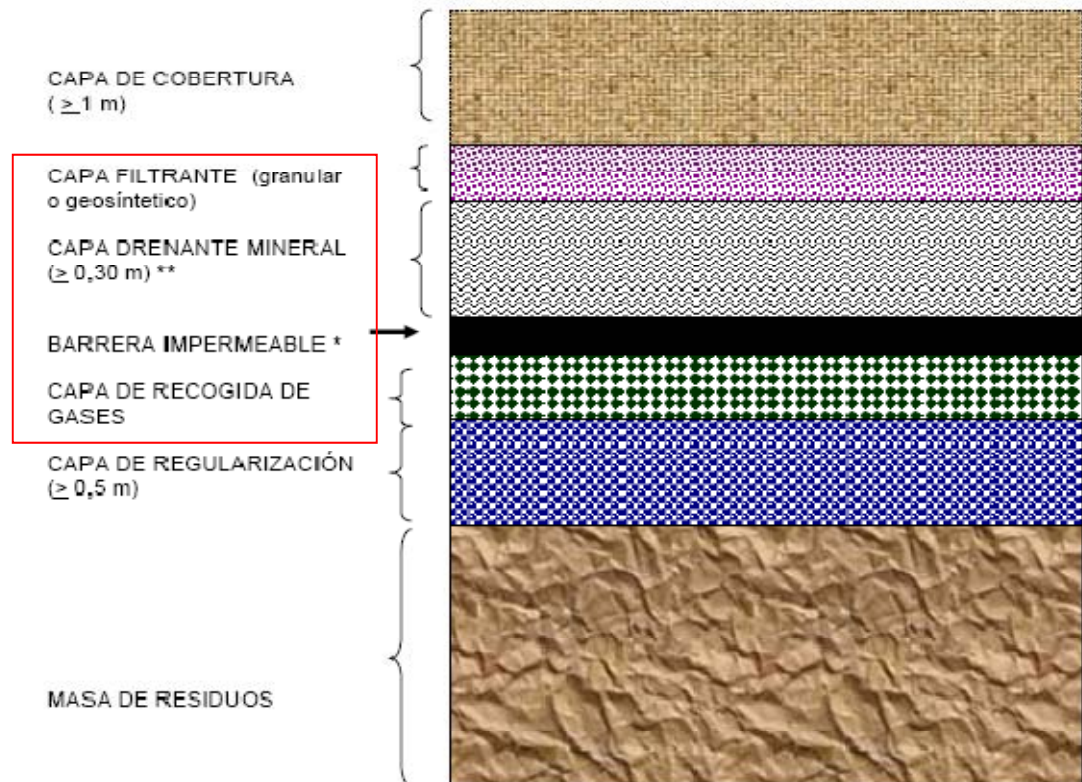
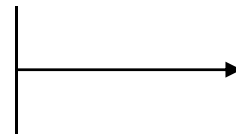
- ESTABLECERÁN ENSAYOS A REALIZAR.
- GARANTIZAR UNA CORRECTA EJECUCIÓN Y TERMINACIÓN DE OBRAS

## ACTUACIONES:

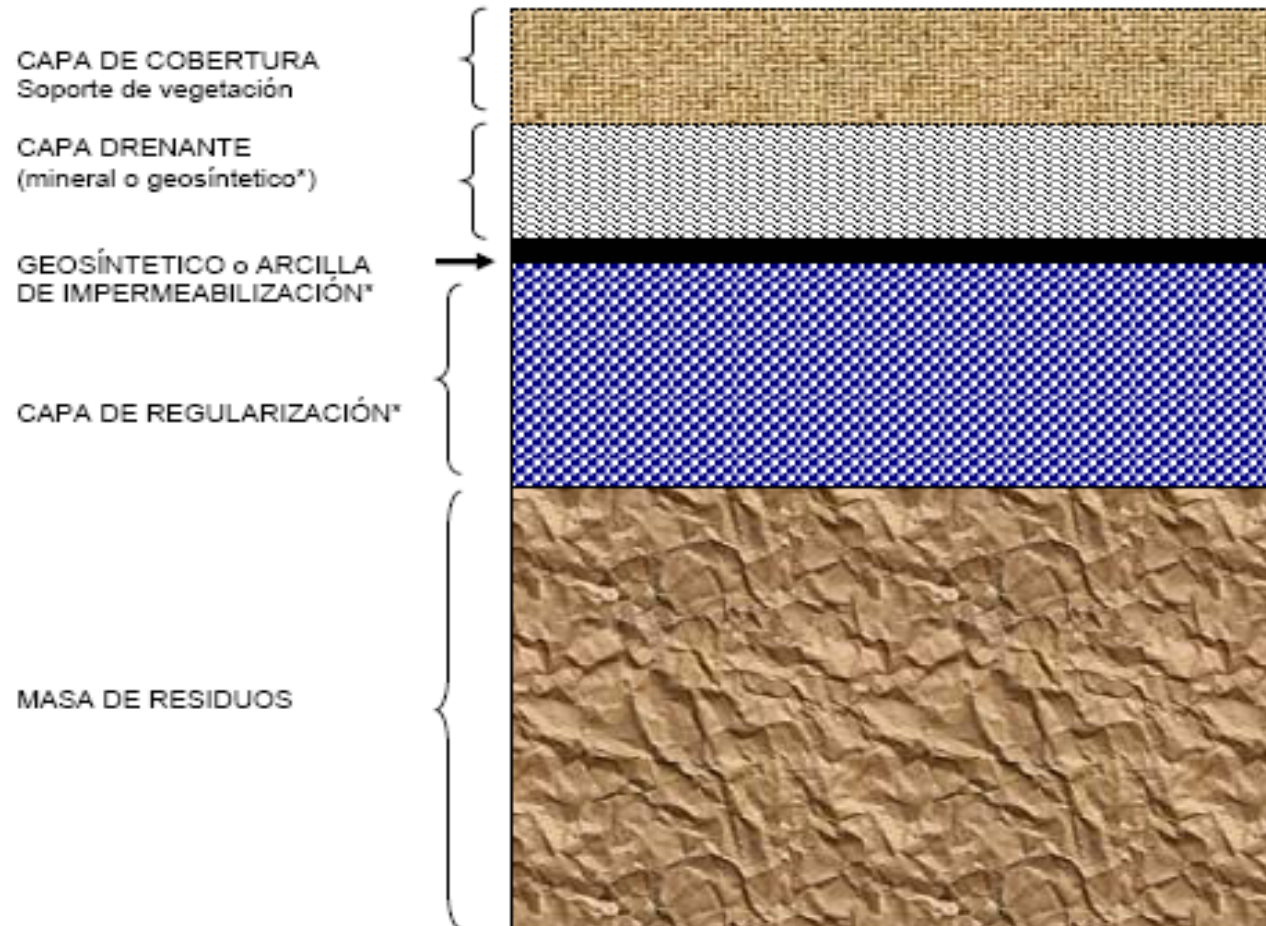
- CONTROL DE MATERIALES Y EQUIPOS.
- CONTROL DE EJECUCIÓN.
- PRUEBAS FINALES DE SERVICIO.

- **CAPAS DRENANTES.**
- **CAPAS IMPERMEABLES.**

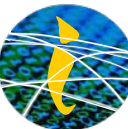
+ **GEOTEXTILES**



# VERTEDEROS DE RESIDUOS INERTES



(\*) Las capas de regularización, de impermeabilización y de drenaje se colocarán en caso de que sean necesarias, a juicio de la autoridad competente para la autorización de la clausura del vertedero.



# Sellado Superficial y de Fondo = Diferentes exigencias

## DESECACION – INTERCAMBIO IONICO

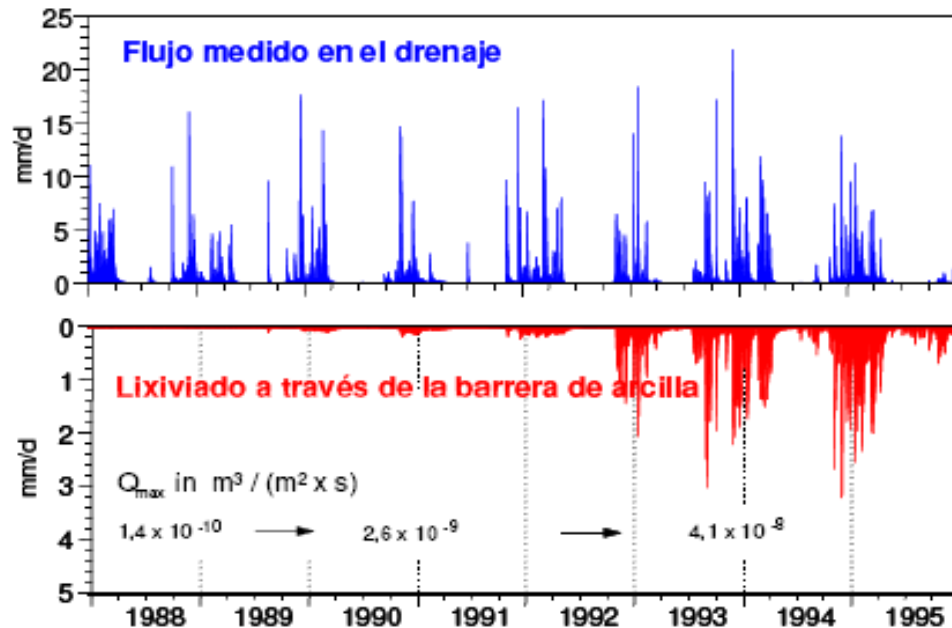
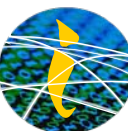


Fig 1 Medidas "in situ" en el vertedero Georgseweder. Melchior

Tabla I: Resultado de sellados experimentales según (4)

| Parcela       | Año  | % lixiviado/drenaje |
|---------------|------|---------------------|
| 60 cm BAC     | 1988 | 2%                  |
| 25 cm drenaje | 1990 | 5%                  |
| 75 cm terreno | 1992 | 31%                 |
| 60 cm BAC     | 1988 | 1%                  |
| Geomembrana   | 1990 | 0,1%                |
| 25 cm drenaje | 1992 | 0,3%                |
| 75 cm terreno |      |                     |
| 40 cm BAC     | 1988 | 2%                  |
| 25 cm drenaje | 1990 | 10%                 |
| 75 cm terreno | 1992 | 42%                 |

Puede verse que en los primeros 4-5 años la BAC (BARRERA ARCILLA COMPACTADA) funciona correctamente, pero a partir del 5º año el flujo que atraviesa la barrera de arcilla se corresponde cada vez más estrechamente con la precipitación pluvial. Solamente cuando la BAC estaba protegida por una geomembrana plástica no se producía infiltración (Ver tabla I). Causa: **Desecación** -> Fisuración





# INTERCAMBIO

## IONICO

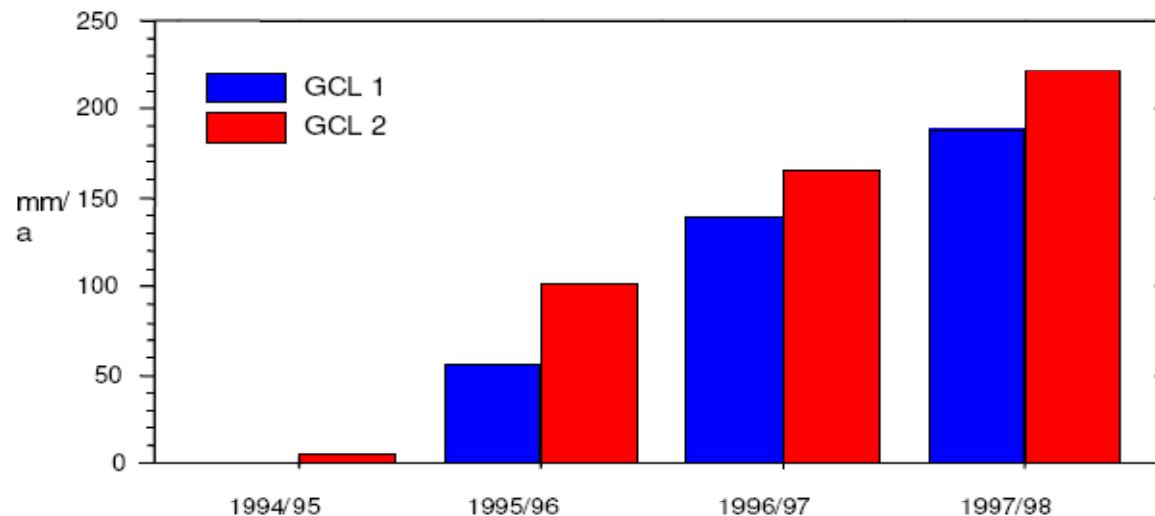
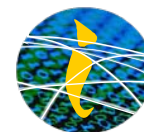
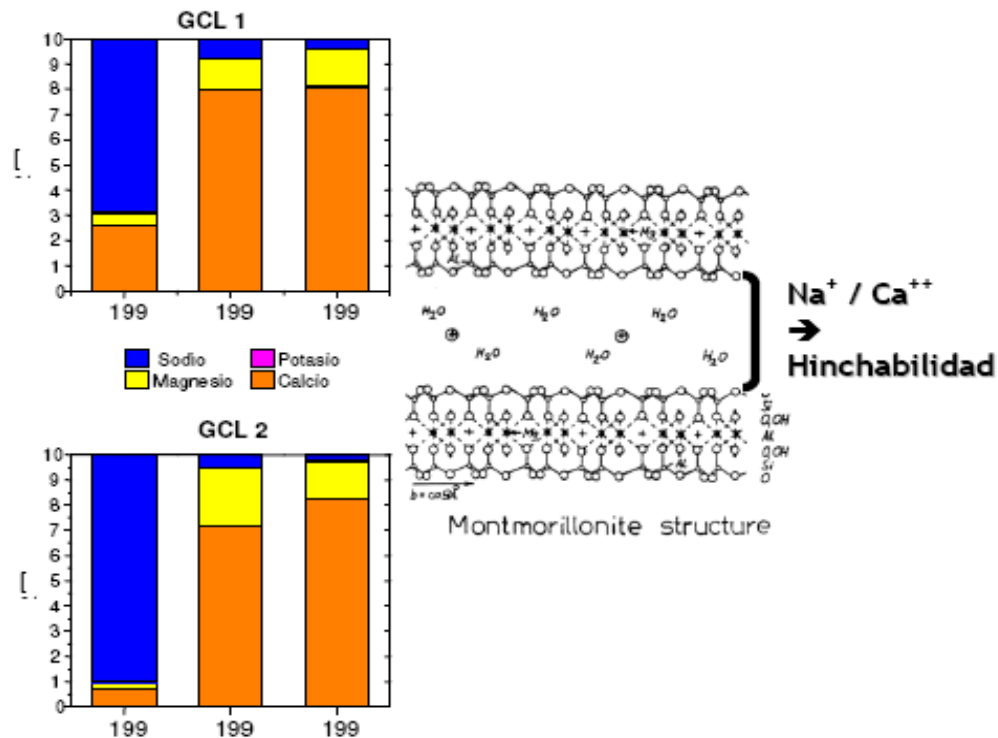


Fig 2.- Variación de la permeabilidad en GCL (vertedero de Hamburgo)

incremento exponencial de la permeabilidad en sólo 4 años y la fig 3 ilustra el motivo de este comportamiento: en el breve plazo de 4 años los iones  $\text{Na}^+$  han desaparecido prácticamente.



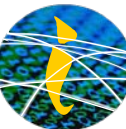
## **CONTROL DE CALIDAD EN LA CAPA IMPERMEABLE (ARCILLAS):**

### **CARACTERISTICAS:**

La Capa Mineral Impermeable deberá cumplir con condiciones de permeabilidad “k” y espesor

Efecto combinado espesor-permeabilidad

En este sentido, para la conformación de esta capa, siempre y cuando cumpla con los requerimientos de permeabilidad y espesor, se podrán utilizar materiales arcillosos, arcillas naturales o materiales similares que no sean,



## CONTROL DE CALIDAD EN ARCILLAS:

## CARACTERISTICAS:

La Capa Mineral Impermeable deberá cumplir con condiciones de permeabilidad “k” y espesor

Efecto combinado espesor-permeabilidad

Grupos de arcillas: caolíniticas, illíticas, montmorilloníticas, etc.

Desde el punto de vista de su calidad impermeable las arcillas montmorilloníticas

Impermeabilidad depende de DESECACION – INTERCAMBIO IONICO PUESTA EN OBRA.

## PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas que den más valor a la Capa Mineral Impermeable deberán ser las siguientes:

- Permeabilidad “k”.
- Plasticidad.
- Retracción media.
- Resistencia al corte.





# CONDICIONES

## SELECCIÓN

- Las arcillas **no sean expansivas**.
- El **límite líquido inferior al 50%**. El **índice de plasticidad** será inferior al 25%.
- **Terrones de arcilla**: la cantidad máxima será **inferior al 0,25%** del volumen de la muestra.
- Compuestos de azufre expresados en **sulfatos al árido seco**: **< 1,2%** del peso de la muestra.
- Absorción de agua: para una arcilla de baja densidad será **< 15%** del peso de la muestra seca; para una arcilla de alta densidad al **20%** del peso de la muestra seca.
- Coeficiente de permeabilidad “k” inferior a  $1 \times 10^{-7}$  m/s.



## **CONTROL DE CALIDAD EN ARCILLAS:**

## **CONTROL DE RECEPCION:**

Como condiciones particulares de control de la recepción, en cada lote compuesto, como máximo **para 1.000 m<sup>3</sup>**, se realizará previamente una muestra.

Las características técnicas a cumplir por la Capa Mineral Impermeable serán las siguientes:

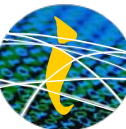
- Porcentaje de finos (tamiz 0,08 UNE): > 30%
- Índice de plasticidad inferior al 25%.
- Partícula máxima:< 2 cm.
- El límite líquido será inferior al 50%.

## **CONDICIONES DE EJECUCION**

- **El extendido y compactado en obra se hará en tongadas de un espesor máximo de 20 cm**
- **Una vez instalada la Capa o cada tongada se realizarán controles in situ de la densidad y humedad**

**Densidad: 1 cada 2.500 m<sup>2</sup>**

**Proctor Modificado y permeabilidad en laboratorio y ensayo triaxial 1 cada 10.000 m<sup>2</sup>**



## **CONTROL DE CALIDAD EN ARCILLAS:**

### **CONDICIONES DE EJECUCION**

- **Se realizarán controles in situ de la permeabilidad mediante ensayo de infiltración superficial (tipo Hålek), al menos, uno cada 5.000 m<sup>2</sup> por cada tongada**
- **Uso de “pata de cabra” que penetren totalmente el espesor de la tongada a compactar**
- **Una compactación que asegure un  $K < 1 \times 10^{-7}$  m/s, en toda la capa.**
- **Durante los trabajos de extendido y compactado se asegurará la adecuada protección de cada una de las tongadas con el fin de evitar su desecación.**

**Con este objeto se pueden adoptar las siguientes acciones:**

- Compactar la superficie dejándola lisa.
- Humectar la superficie.(NO DESECACIÓN)
- Cobertura de la capa mediante una lámina de plástico





## **CONTROL DE CALIDAD EN ARCILLAS:**

**El plan debe incluir al menos:**

- **Procedimiento para almacenaje.**
- **Procedimiento de instalación.**
- **Los equipos de carga, extendido y compactación usados.**
- **Grosor de las capas compactadas y sin compactar.**
- **Método de compactación.**
- **Ensayos llevados a cabo y su frecuencia**

Durante la instalación de la capa deben recogerse y documentarse en un informe de ensayos de campo, el cual debe incluir:

- **El método de instalación.**
- **Los equipos de carga, extendido y compactación usados.**
- **Grosor de las capas compactadas y sin compactar.**
- **Método de compactación.**
- **Ensayos llevados a cabo, frecuencia y resultados.**
- **Nombres de las personas envueltas en la producción, instalación y plan de calidad.**
- **Compactación en relación con el procedimiento de instalación.**
- **Variación en el grosor de la capa en relación con el método del proceso.**
- **Calidad visual de la capa instalada.**
- **Condiciones meteorológicas y cualquier efecto causado por el clima.**



## CONTROL DE CALIDAD EN CAPAS DRENANTES:

### OBJETO:

- Pendientes mínimas tras los asientos: 2%
- Coeficiente de impermeabilidad hidráulica  $> 10^{-2}$  m/sg
- Contenidos de finos (tamiz 0,08 UNE)  $> 5\%$
- Coeficiente de uniformidad  $> 3$ .
- Tamaño del árido 2 – 4 cm.
- Se utilizarán preferentemente grava de tipo NO CALIZA (carbonatos  $< 30\%$  peso)
- Se podrán colocar geotextiles para la protección del drenaje:
  - Ser químicamente resistentes.
  - Resistentes al desgarramiento y la perforación será del doble que las geomembranas a las que protegen

### PRUEBAS:

- 1 Granulométrico por cada 4.500 m<sup>3</sup>.
- 1 equivalente de arena por cada 4.500 m<sup>3</sup>.
- 1 ensayo de desgaste de Los Angeles por cada 13.500 m<sup>3</sup>.
- Comprobación de la geometría de capas colocadas.
- Comprobación de cotas cada 2.500 m<sup>2</sup> mediante replanteo topográfico
- Comprobación visual del espesor de las capas y que no se producen segregaciones



## CONTROL DE CALIDAD EN GEOSINTETICOS:

### GEOMEMBRANAS: - Al inicio de las obras-

- **Identificación** u origen de la resina utilizada en la geomembrana: Identificación del producto.
- **Copias** de los certificados correspondientes a cada lote de fabricación, indicando fecha de fabricación.
- **Certificación** por escrito, del fabricante, de la composición de la geomembrana
- **Certificación** por escrito del fabricante garantizando los valores mínimos aportados.

### CARACTERISTICAS:

**Densidad.**

**Índice de fluidez.**

**Contenido en negro de carbono y cenizas.**

**Dispersión en negro de humo.**

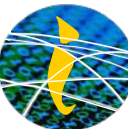
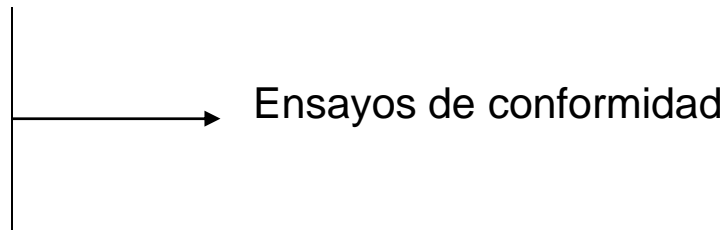
**Espesor.**

Propiedades tensodeformacionales

Resistencia al punzonamiento.

Coefficiente de fricción

Resultado del ensayo SCR (Environmental Stress Crack Resistance).





## CONTROL DE CALIDAD EN GEOSINTETICOS:

**GEOTEXTILES:** - tiene aplicación específica para geotextiles no tejidos de polipropileno, poliéster o polietileno de alta densidad, ó de una mezcla entre los anteriores, pero excluyéndose los geotextiles de tejidos

### El fabricante:

- Masa unitaria.
- Espesor.
- Resistencia a la tracción y alargamiento.
- Resistencia a la perforación CBR.
- Resistencia al punzonamiento dinámico.
- Indicación del grado de estabilización contra la radiación UV que posee el producto, junto con una estimación del plazo máximo de exposición recomendado, antes de ser cubierto

Sobre cada muestra se realizarán los siguientes ensayos:

- Masa unitaria.
- Resistencia a tracción y alargamiento.
- Resistencia al punzonamiento dinámico.
- Resistencia al Desgarro Trapezoidal.
- Resistencia a la perforación CBR.

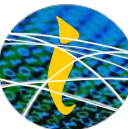


## **CONTROL DE CALIDAD EN GEOSINTETICOS:**

**GEOCOMPUESTOS DRENANTES:** - Se trata de geocompuestos constituidos por un núcleo drenante (generalmente una geored) revestidos por uno o ambos lados por un geotextil de separación. Se utilizan para captación, drenaje y evacuación de agua, gases o lixiviados.

- - Masa unitaria.
- - Espesor.
- - Resistencia a tracción.
- - Transmisividad a 2,20 y 200 kPa.
- - Resistencia a la compresión.
- - Adhesión geotextil/núcleo.
- - Indicación del grado de estabilización contra la radiación UV que posee el producto, junto con una estimación del plazo máximo de exposición recomendado antes de ser cubierto

**Las muestras deben tomarse de rollos que no estén dañados y salvo especificaciones diferentes, tendrán 0,5 m de longitud por todo lo ancho del rollo.**



# CONTROL DE CALIDAD EN GEOSINTETICOS:

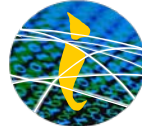
## GEOCOMPUESTOS DRENANTES:

### Ensayos de conformidad

Salvo especificaciones complementarias incluidas en los documentos del proyecto, se realizarán al menos los siguientes ensayos de conformidad:

- - Masa unitaria
- - Espesor
- - Resistencia a tracción en rotura en ambas direcciones
- - Transmisividad a 2 kPa.
- - Adhesión geotextil-núcleo





REDICMA

## VALORES MINIMOS PARA GEOTEXTIL DE PROTECCION

| CARACTERÍSTICA                             | UNIDAD | NCRMA               | VALOR   |
|--|--------|---------------------|---------|
| Espesor bajo presión de 2kN/m <sup>2</sup> | mm     | EN 964              | 3       |
| Resistencia a Perforación CBR              | N      | EN ISO 12236        | 2000    |
| Resistencia a Tracción                     | kN/m   | EN ISO 10319/1      | 20      |
| Alargamiento de rotura                     | %      | EN ISO 10319/1      | 60      |
| Perforación por caída libre de cono        | mm     | EN 918              | <14     |
| Resistencia a perforación por pirámide     | N      | Anexo B UNE 104-424 | Tabla 1 |

## VALORES MINIMOS PARA GEOTEXTIL DE FILTRO

| CARACTERÍSTICA                             | UNIDAD | NCRMA          | VALOR |
|--|--------|----------------|-------|
| Espesor bajo presión de 2kN/m <sup>2</sup> | mm     | EN 964         | 1,3   |
| Resistencia a Perforación CBR              | N      | EN ISO 12236   | 1500  |
| Resistencia a Tracción                     | kN/m   | EN ISO 10319/1 | 9     |
| Alargamiento de rotura                     | %      | EN ISO 10319/1 | 60    |
| Perforación por caída libre de cono        | mm     | EN 918         | <30   |

## GEORED - GEOCOMPUESTOS DRENANTES

**Geocompuestos**

|                                    |                  |          |
|------------------------------------|------------------|----------|
| Densidad                           | UNE 104- 300 -99 | Por lote |
| Contenido de carbono negro         | UNE 104- 300 -99 | Por lote |
| Dispersión de negro carbono        | UNE 104- 300 -99 | Por lote |
| Epesor                             | UNE 104- 300 -99 | Por lote |
| Propiedades tenso deformacionales  | UNE 104- 300 -99 | Por lote |
| Resistencia a punzonamiento        | UNE 104- 300 -99 | Por lote |
| Indice de Fluidéz                  | UNE 104- 300 -99 | Por lote |
| Coefficiente de fricción           | UNE 104- 300 -99 | Por lote |
| Tiempo de inducción a la oxidación | UNE 104- 300 -99 | Por lote |
| Ensayo NCTL ó SCR                  | UNE 104- 300 -99 | Por lote |



Velocidades de puesta en obra:

90 m/h (ultrasonido caliente o cuña caliente)

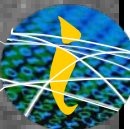
15 m/h (extrusión plana ó aire caliente)

SOLDADURA 4 - 38° C

SOLAPES ENTRE PANELES: 15 - 23 cm

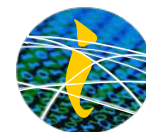
Soldaduras paralelas a la cresta de talud > 0,8 metros

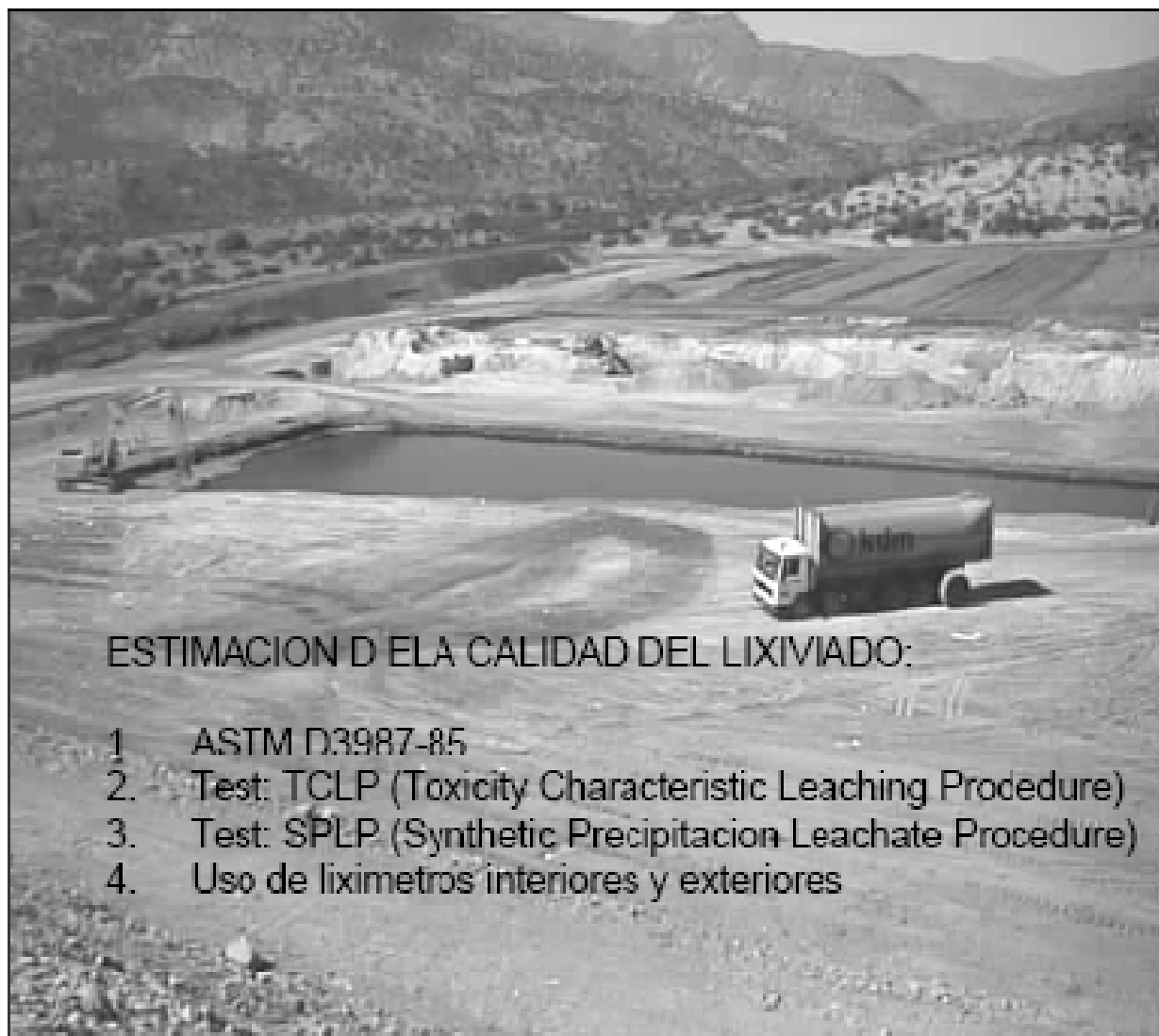
Soldaduras paralelas al pie de talud > 1,5 metros



REDICMA

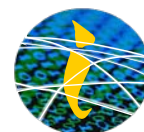
# DRENAJE DE LIXIVIADOS





#### ESTIMACION D ELA CALIDAD DEL LIXIVIADO:

1. ASTM D3987-85
2. Test: TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prodedure)
3. Test: SPLP (Synthetic Precipitation-Leachate Procedure)
4. Uso de lixímetros interiores y exteriores



### INSTALACIONES DE CONTROL

- **RED DE PIEZÓMETROS DE CONTROL**
  - CONTROL DE NIVEL PIEZOMÉTRICO
  - CONTROL CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
  - AL MENOS UN PUNTO EN LA ZONA DE AGUAS ARRIBA Y DOS EN LA ZONA DE AGUAS ABAJO
  - EL NUMERO DE PIEZÓMETROS DEBERÁ AUMENTARSE SEGÚN EL RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO ESPECÍFICO DE LA ZONA

### CONTROLES MEDIOAMBIENTALES

- **MEDIDAS METEOROLÓGICAS Y BALANCES HÍDRICOS**
- **COMPOSICIÓN DEL LIXIVIADO**
- **CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES**
- **CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**
- **EVOLUCIÓN Y ASENTAMIENTO DEL VERTEDERO**

### CONTROLES MEDIOAMBIENTALES

- **DATOS METEOROLÓGICOS Y BALANCE**

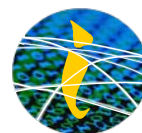
|                                | EXPLOTACIÓN | POSTCLAUSURA     |
|--------------------------------|-------------|------------------|
| VOLUMEN                        | DIARIO      | DIARIO Y MENSUAL |
| TEMPERATURA (MIN, MAX, 14,00H) | DIARIO      | MENSUAL          |
| DIRECCIÓN Y FUERZA VIENTO      | DIARIO      | NO SE EXIGE      |
| EVAPORACIÓN                    | DIARIO      | DIARIO Y MENSUAL |
| HUMEDAD ATMOSFERICA            | DIARIO      | MENSUAL          |

### AGUAS SUPERFICIALES

|                       | EXPLOTACIÓN | POSTCLAUSURA |
|-----------------------|-------------|--------------|
| VOLUMEN Y COMPOSICIÓN | TRIMESTRAL  | SEMESTRAL    |

### AGUAS SUBTERRÁNEAS

|             | EXPLOTACIÓN           | POSTCLAUSURA          |
|-------------|-----------------------|-----------------------|
| NIVEL       | SEMESTRAL             | SEMESTRAL             |
| COMPOSICIÓN | FRECUENCIA ESPECÍFICA | FRECUENCIA ESPECÍFICA |





## LIXIVIADOS

|             | EXPLOTACIÓN | POSTCLAUSURA |
|-------------|-------------|--------------|
| VOLUMEN     | MENSUAL     | SEMESTRAL    |
| COMPOSICIÓN | TRIMESTRAL  | SEMESTRAL    |



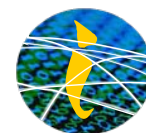
### EN LIXIVIADOS Y CALIDAD DE AGUAS

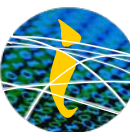
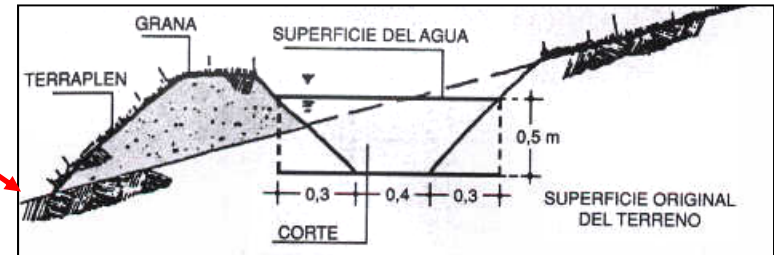
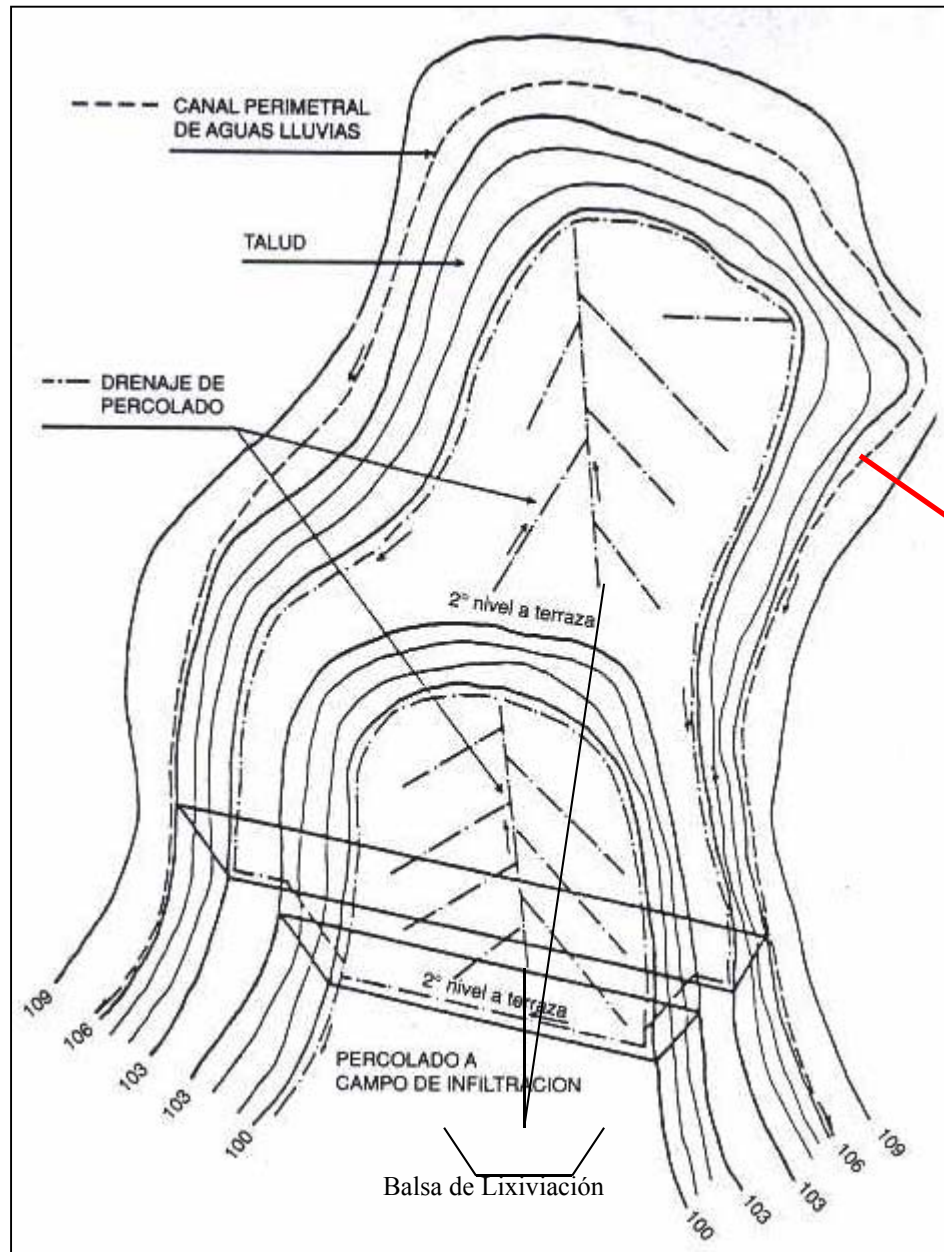
OBLIGATORIOS → CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

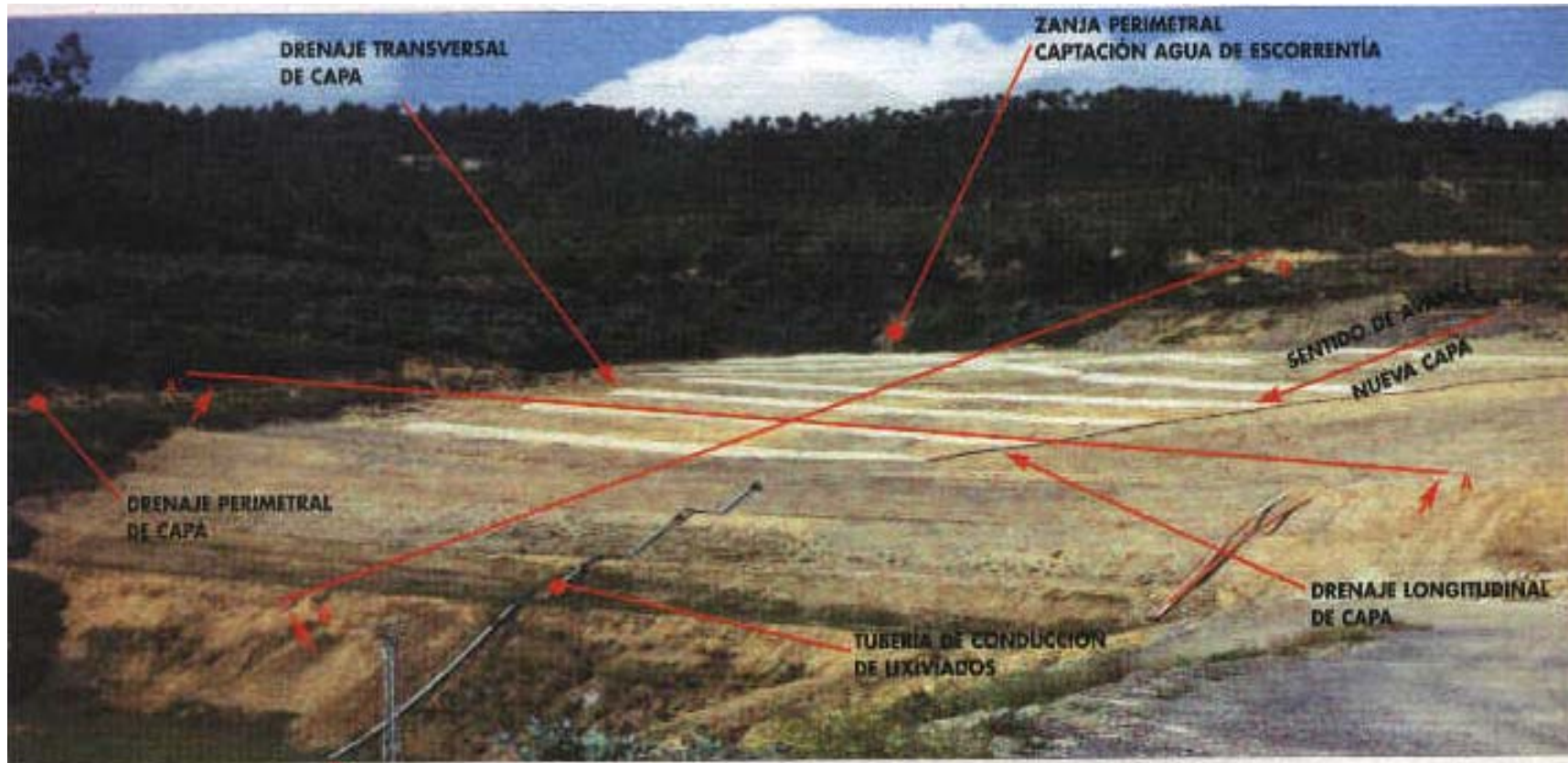
RECOMENDADOS →  
pH  
COT  
FENOLES  
METALES PESADOS  
FLUORURO  
ARSÉNICO  
HIDROCARBUROS

• SUPERVISIÓN AMBIENTAL

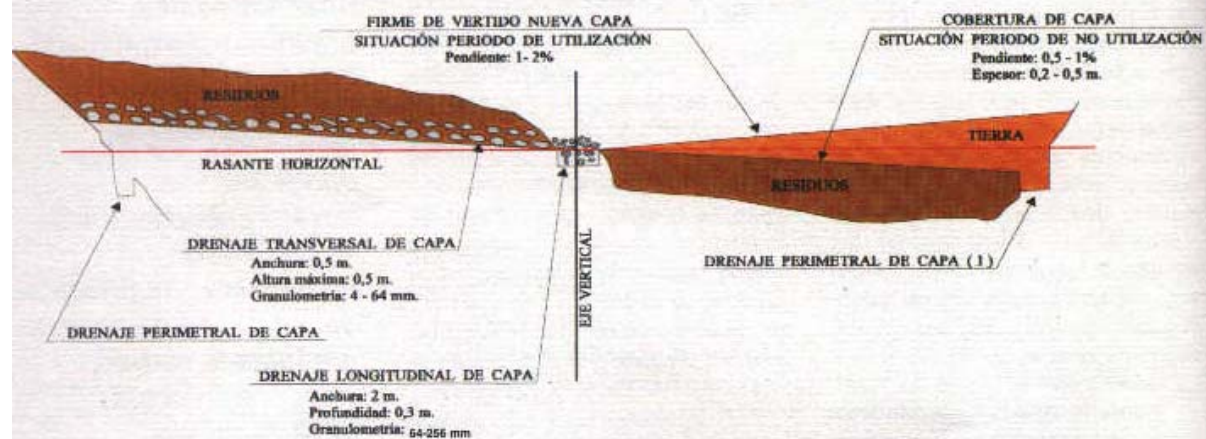
- MANTENIMIENTO DE LA RED DE CONTROL
- SISTEMAS DE CONTROL DE DRENAJE
- RECOGIDA Y TRATAMIENTO DEL LIXIVIADO







### SECCIÓN TRANSVERSAL A - A'










## Capa de impermeabilización con arcilla

Valores recomendados para diversos parámetros de esta capa son:

- Porcentaje de finos (tamiz 0.08 UNE) > 30%
- Índice de plasticidad: 10 – 30
- Partícula máxima < 2 cm.

## Capa de drenaje

- Pendiente mínima tras los máximos asientos previsibles: 2%
  - Cubrirá el fondo y las paredes del vaso.
  - Su instalación no dañará a las capas inferiores
- 
- 
- 
- 
- 





### *Capa de gravas:*

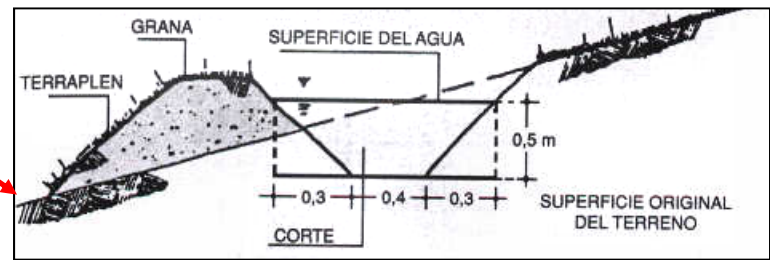
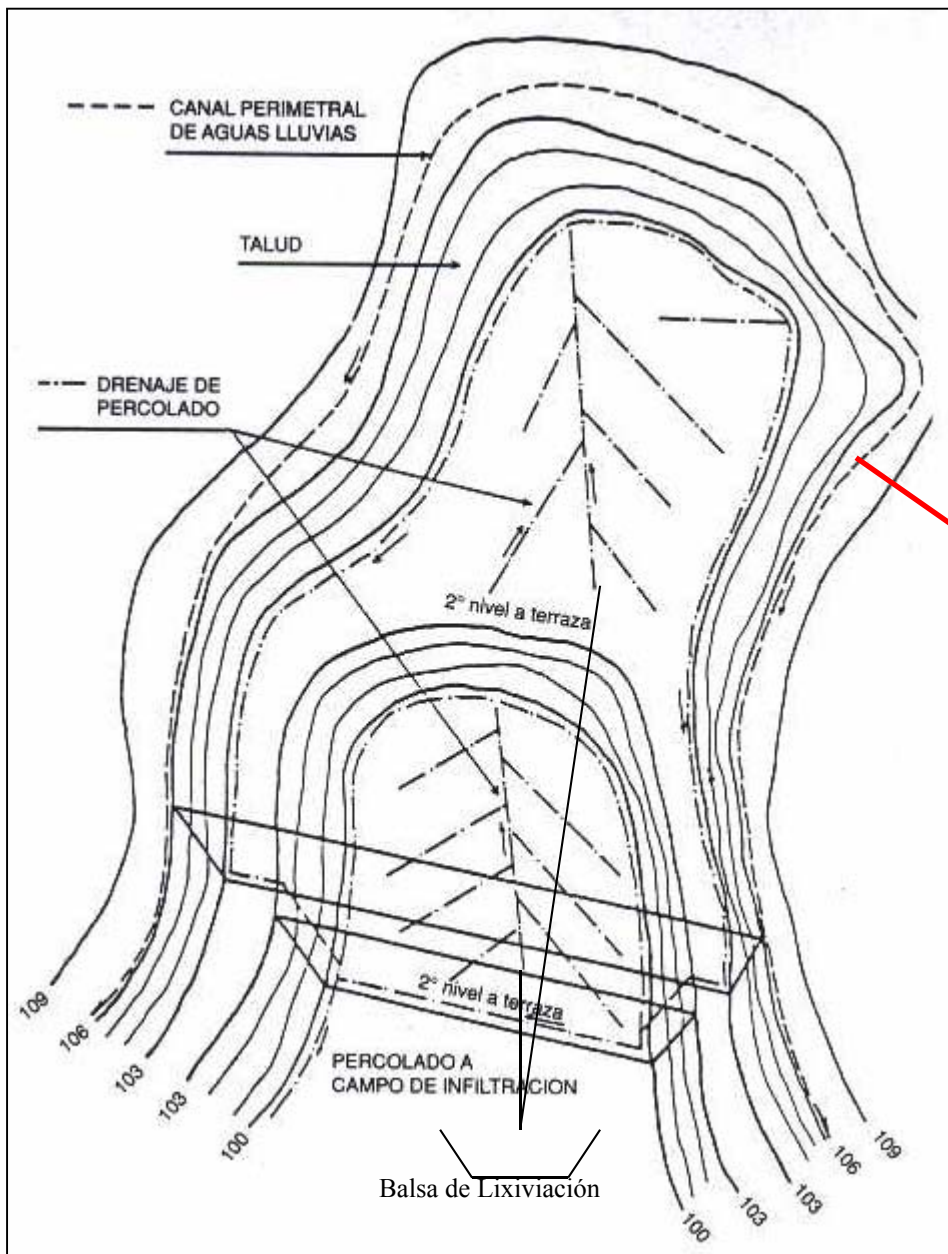
- El coeficiente de permeabilidad hidráulica será mayor de 10-2 m/s
- El contenido de finos (tamiz 0.08 UNE) no sobrepasará el 5%.
- El coeficiente de uniformidad será menor de tres.
- El tamaño de árido se encontrará preferentemente en el rango 2-4cm.
- De modo preferente se utilizará grava de tipo no caliza, con un contenido de carbonatos menor de un 30% en peso.
- Si su ubicación se hace sobre una geomembrana impermeable, protegida con geotextil, el árido que este en contacto con ella cumplirá las condiciones de resistencia a punzonamiento.

### *Tuberías de drenaje:*



Se recomienda la colocación de tuberías ranuradas de drenaje uniformemente repartidas en la capa de drenaje para la extracción del lixiviado, cumpliendo los siguientes requisitos:

- La pendiente mínima de dichas tuberías será del 2% después de los asentamientos previsibles.
- Diámetro mínimo de las conducciones de lixiviados de 150 mm.
- Capas drenantes de material competente, gravas rodadas o de cantos no angulosos y con conductividad hidráulica mínima de, una vez colocadas, al menos  $1 \times 10^{-2}$  m/seg.
- Las tuberías se distanciaron aproximadamente 20 m como máximo unas de otras, minimizándose su longitud.





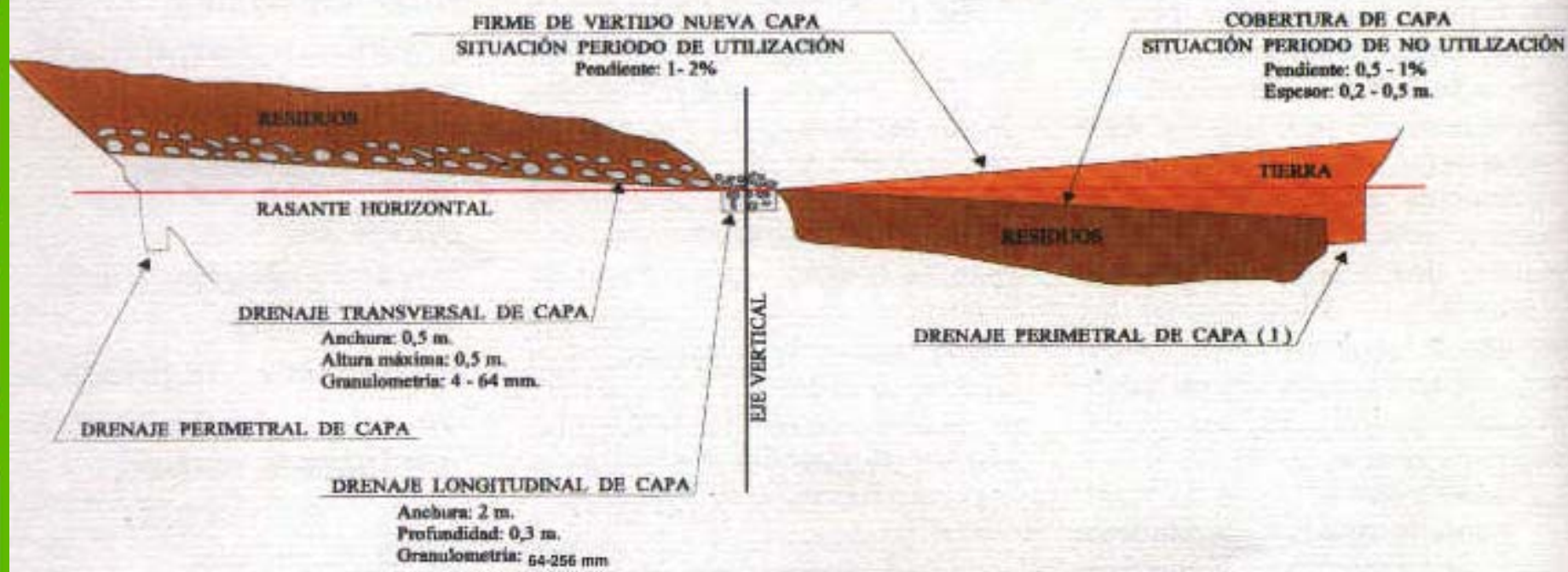








## SECCIÓN TRANSVERSAL A - A'





# Situaciones constructivas en explotación







**Barreras minerales de bentonita + polímero, más conocidas por su nombre comercial "TRISOPLAST".**

Para su fabricación se amasa en una planta tipo hormigonado

Arena 1000 kg

Bentonita 130 kg

Polímero especial 2,6 kg

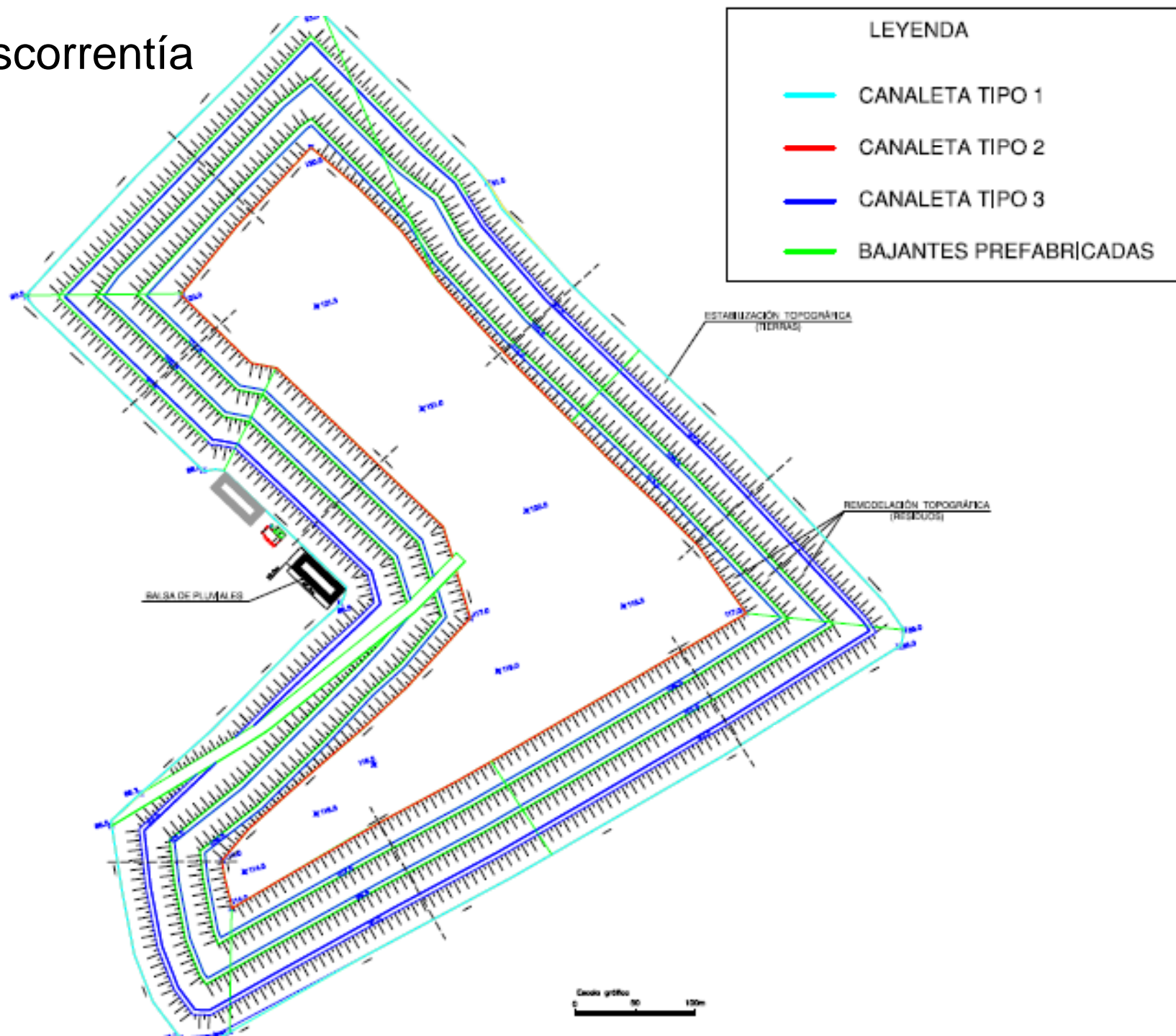
Agua: en función de la humedad de la arena.

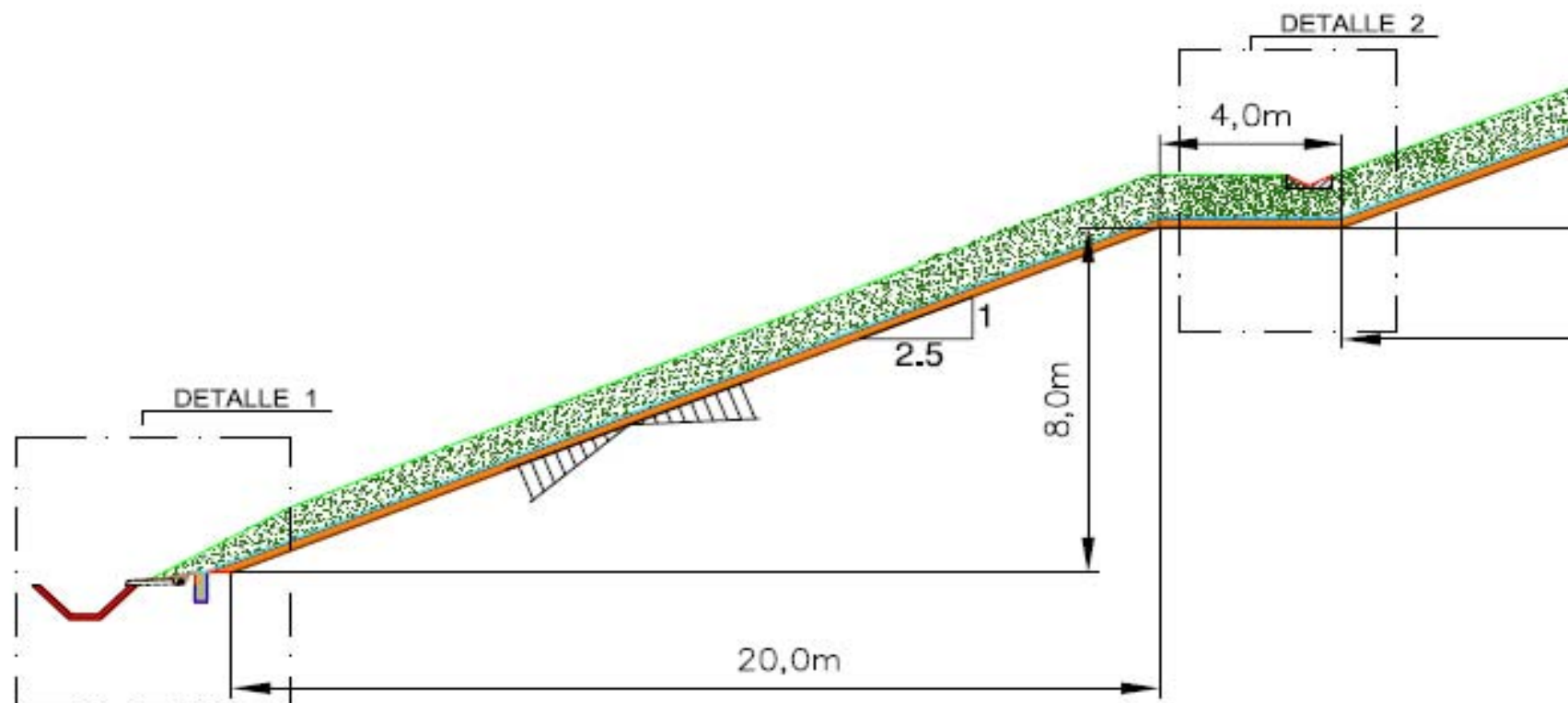
- Aspecto de arena húmeda, y se extiende y compacta con la maquinaria habitual de movimiento de tierras,
- Una sola tongada (espesor: 6 y 10 cm).
- Taludes, donde es admisible llegar hasta un máximo de 1:2
- La permeabilidad, entre  $1$  y  $3 \times 10^{-11}$ , es prácticamente constante a partir de una densidad Proctor del 87%

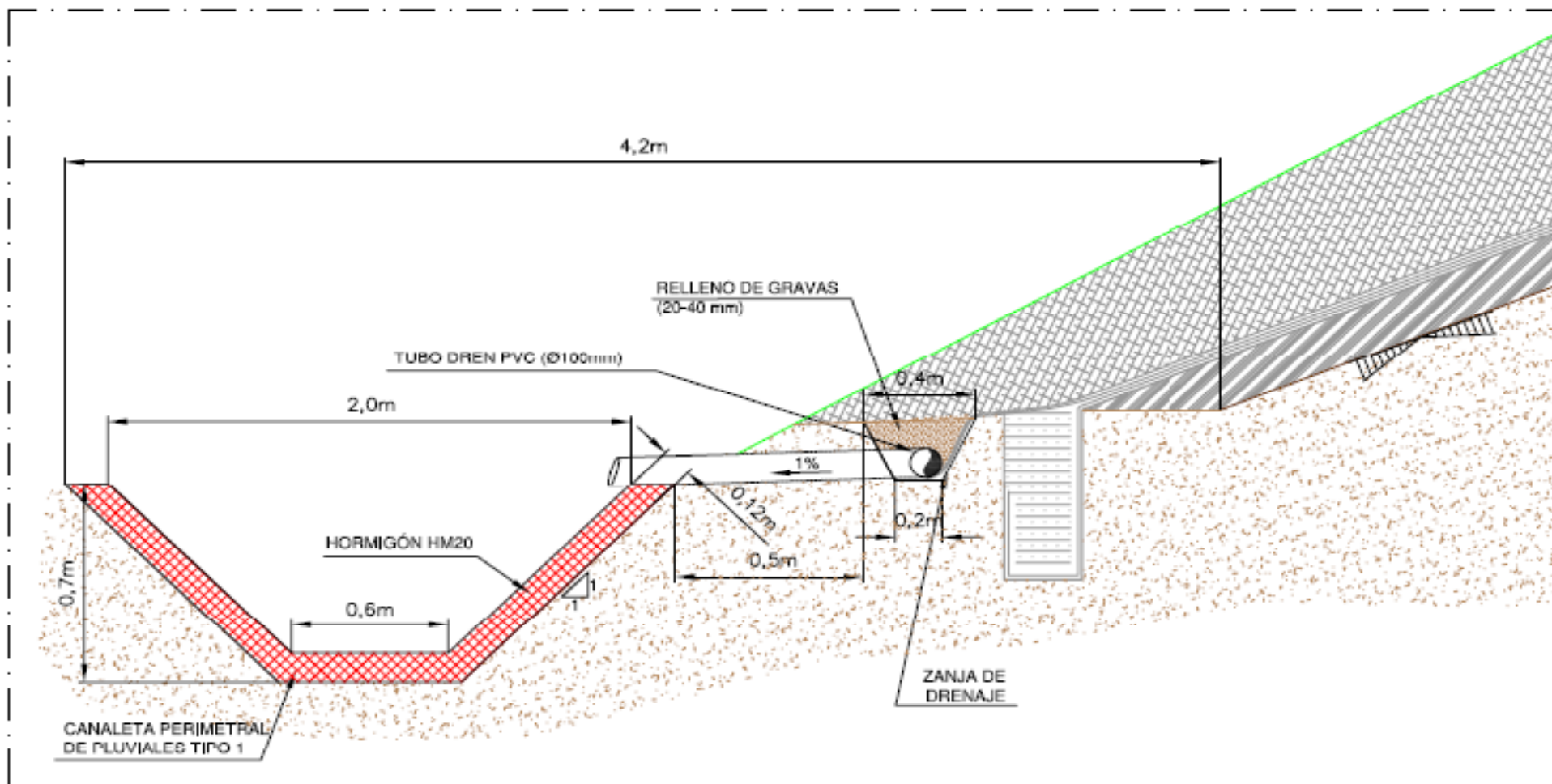




# Drenaje de escorrentía

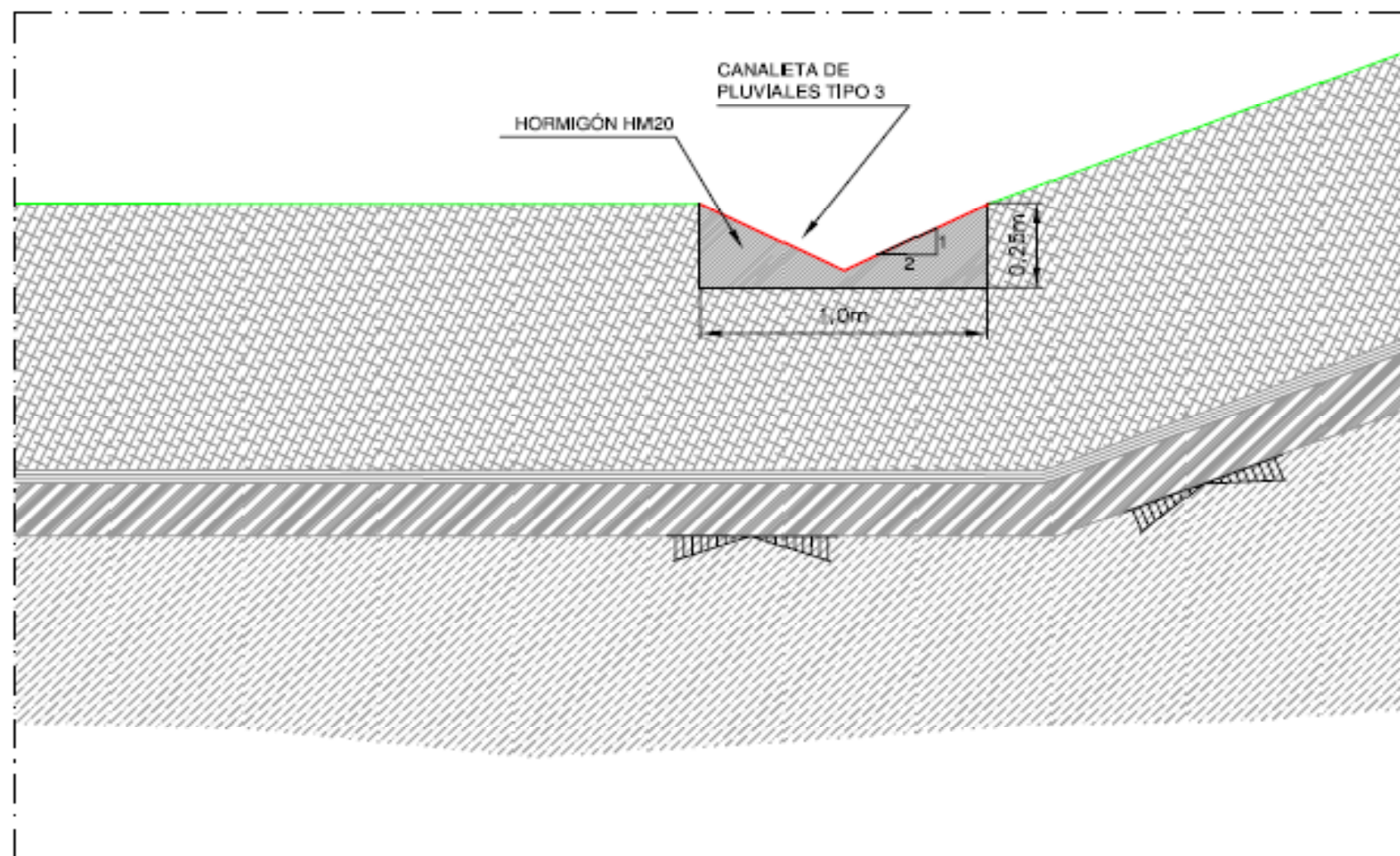




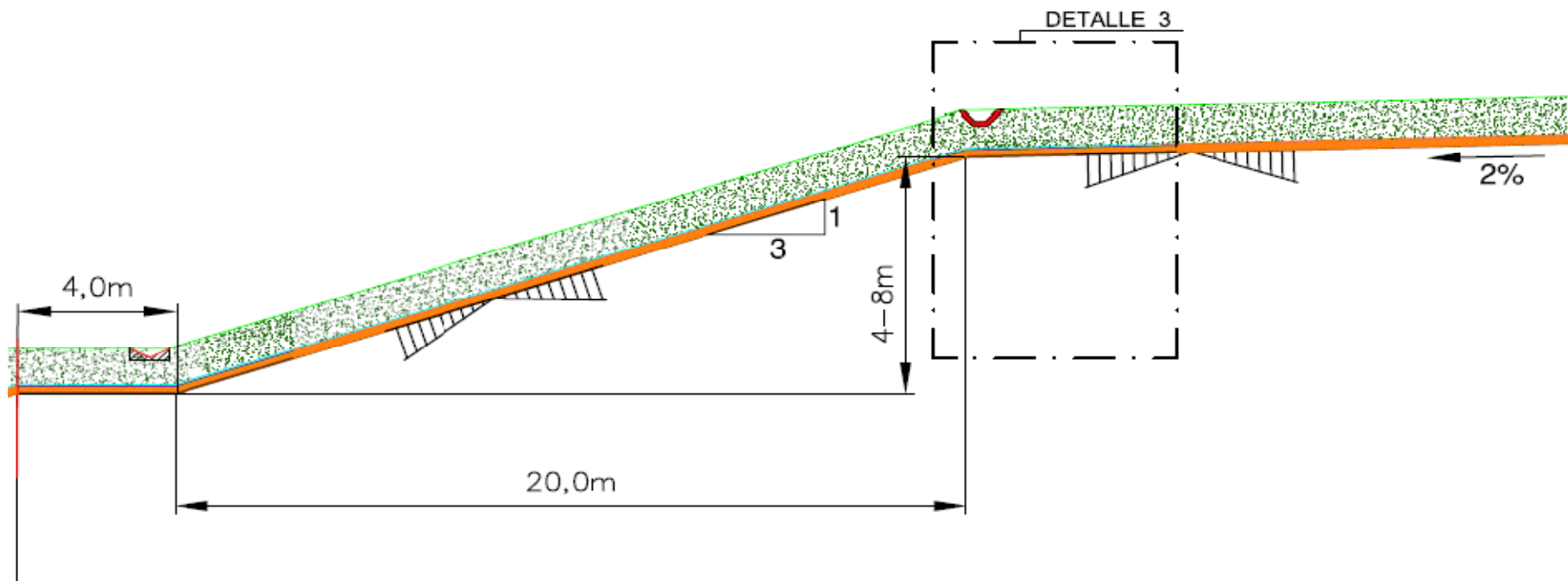


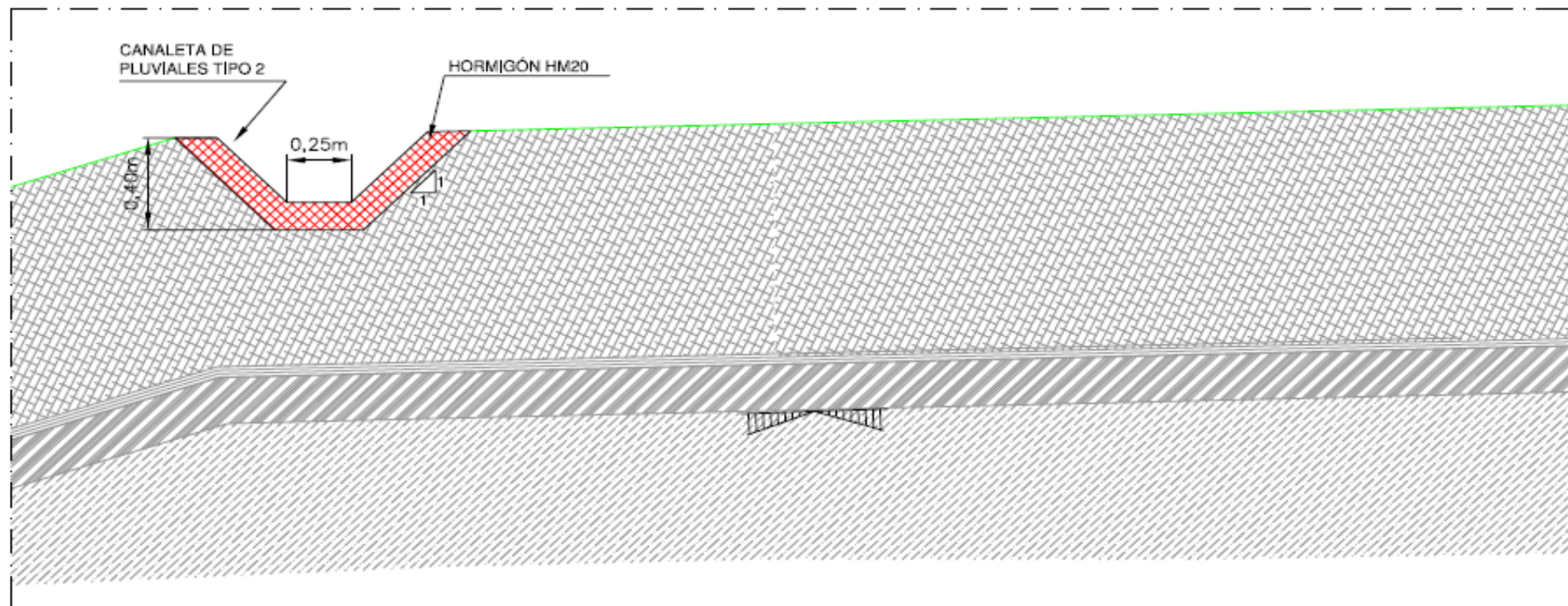
DETALLE 1





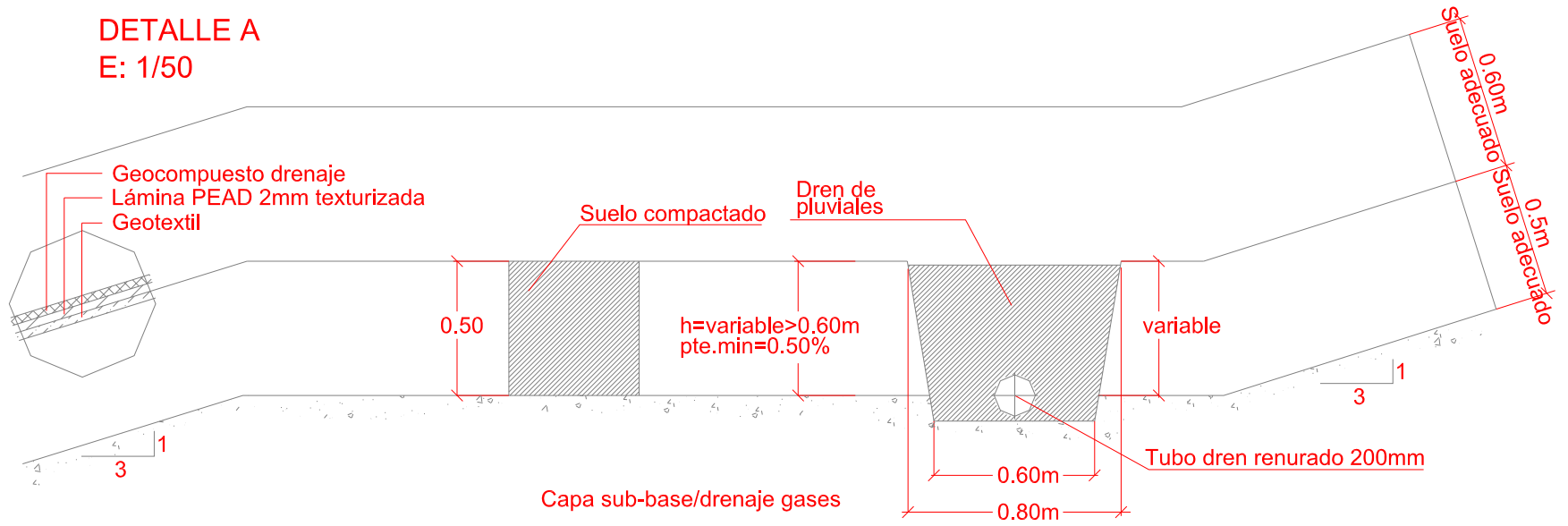
DETALLE 2



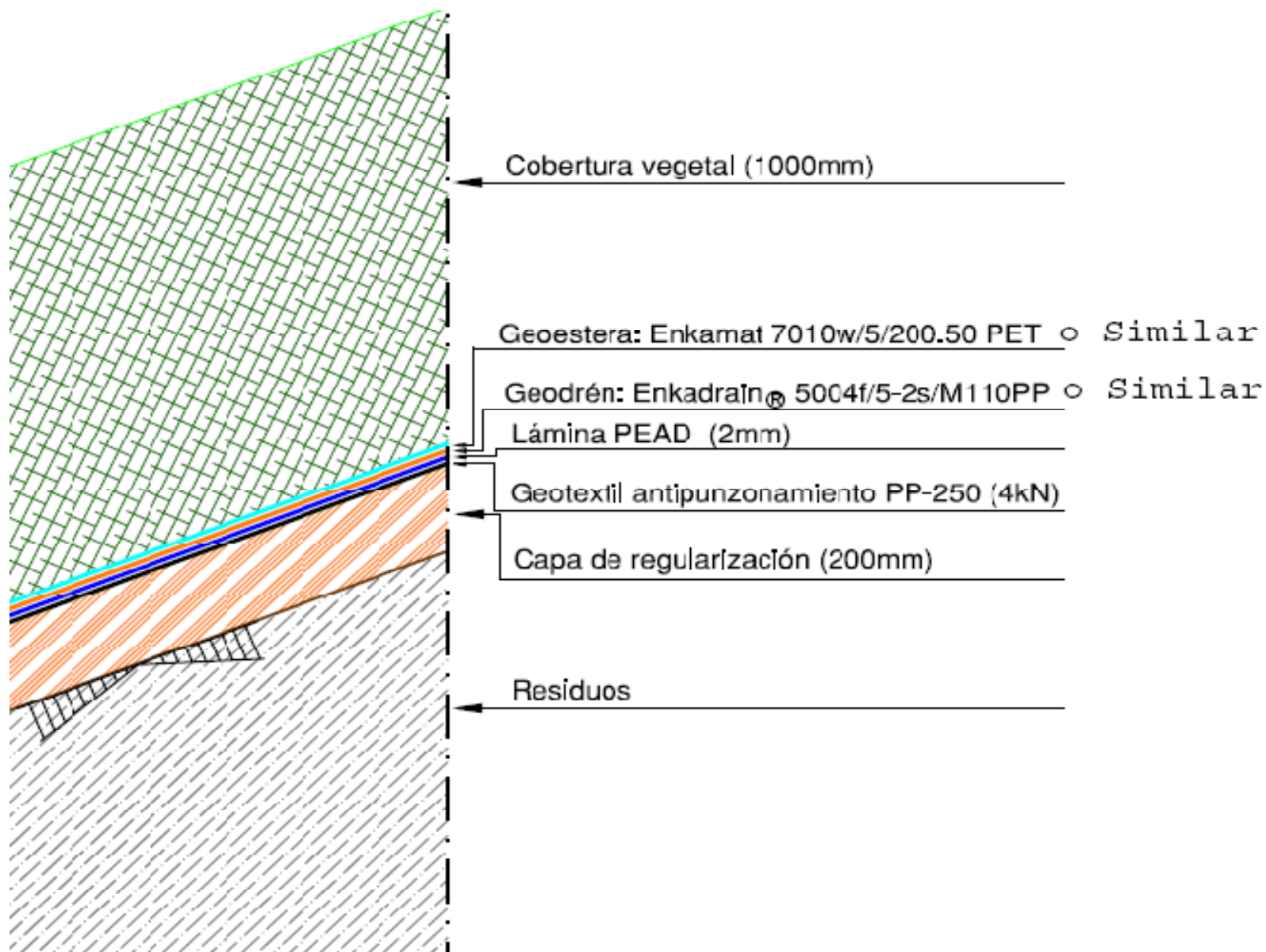


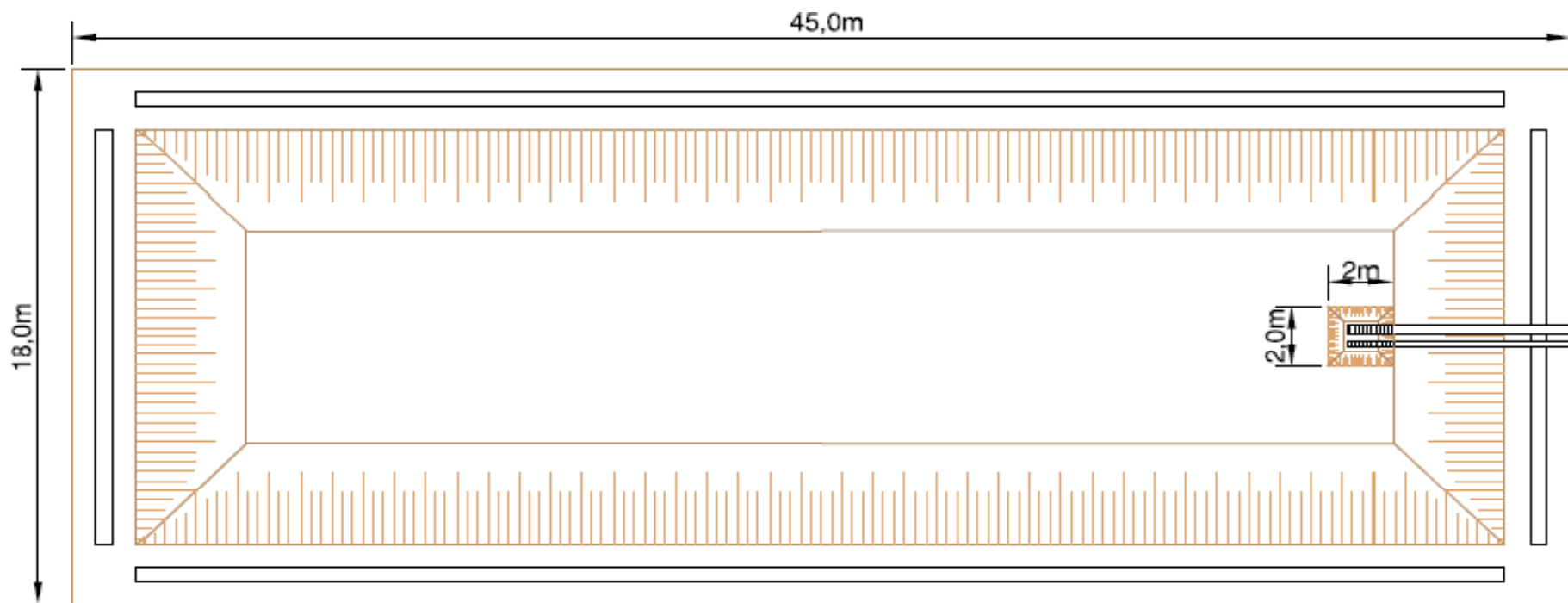
DETALLE 3

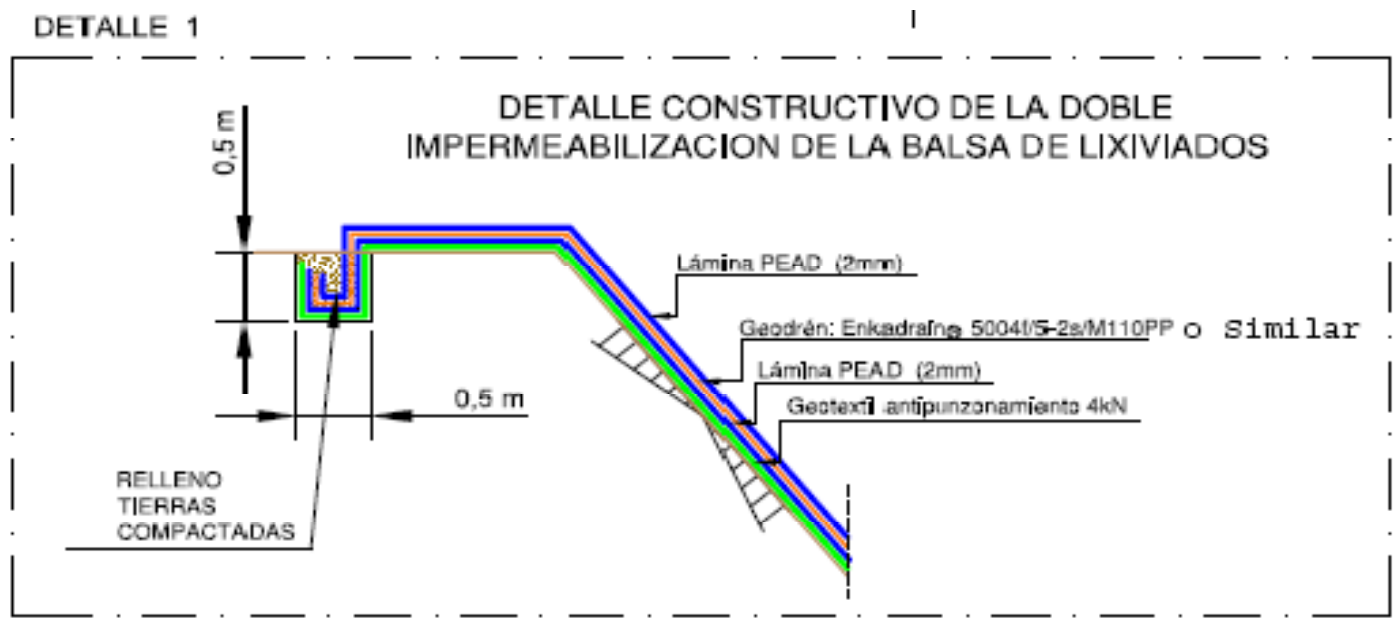
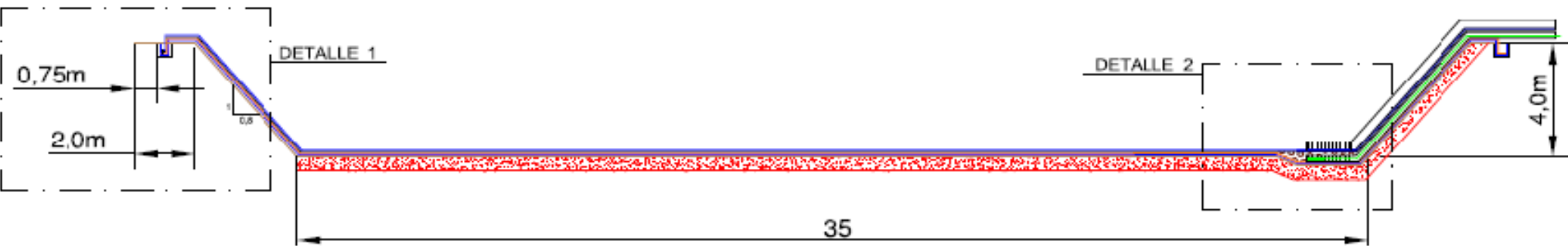
DETALLE A  
E: 1/50

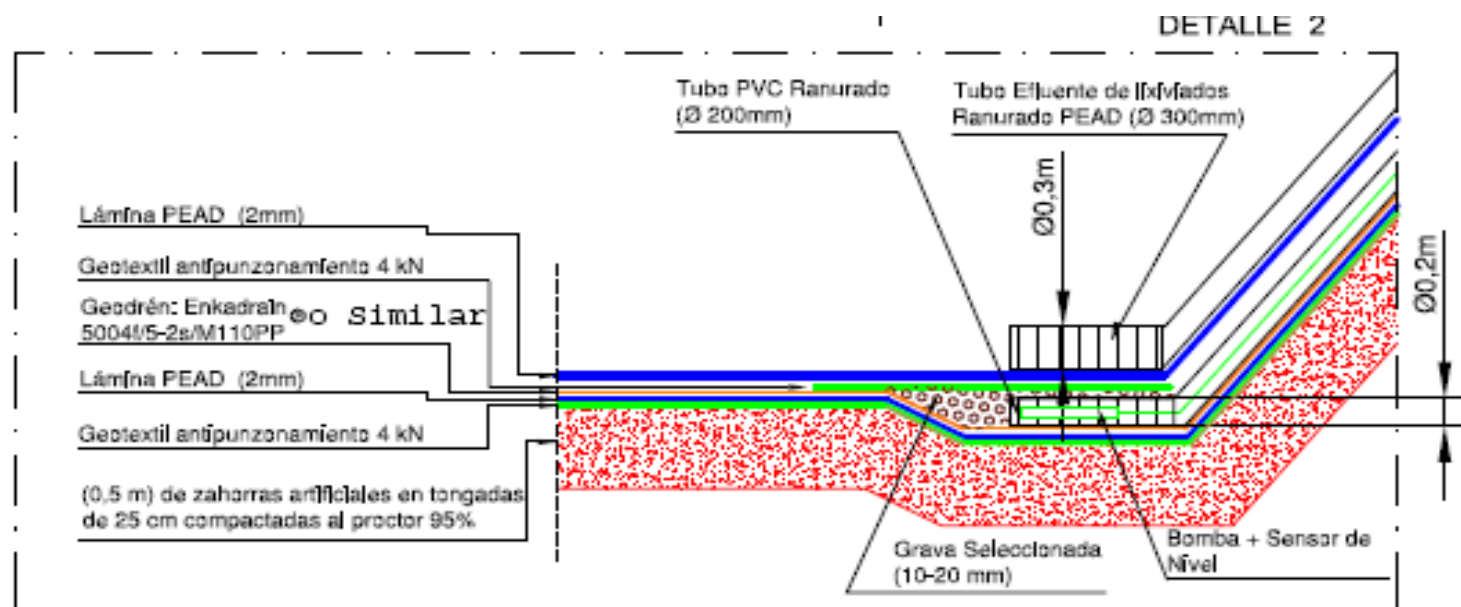




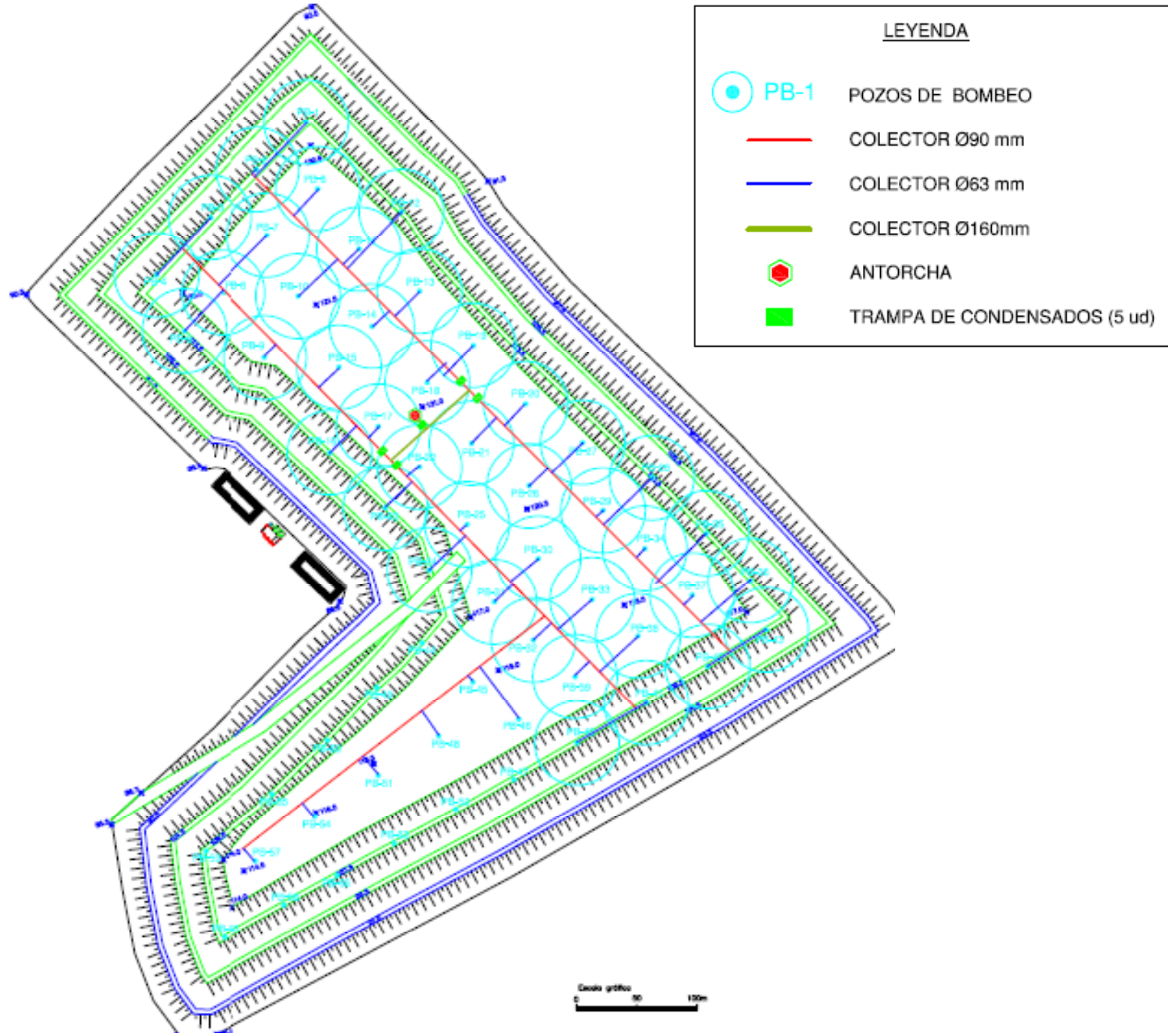








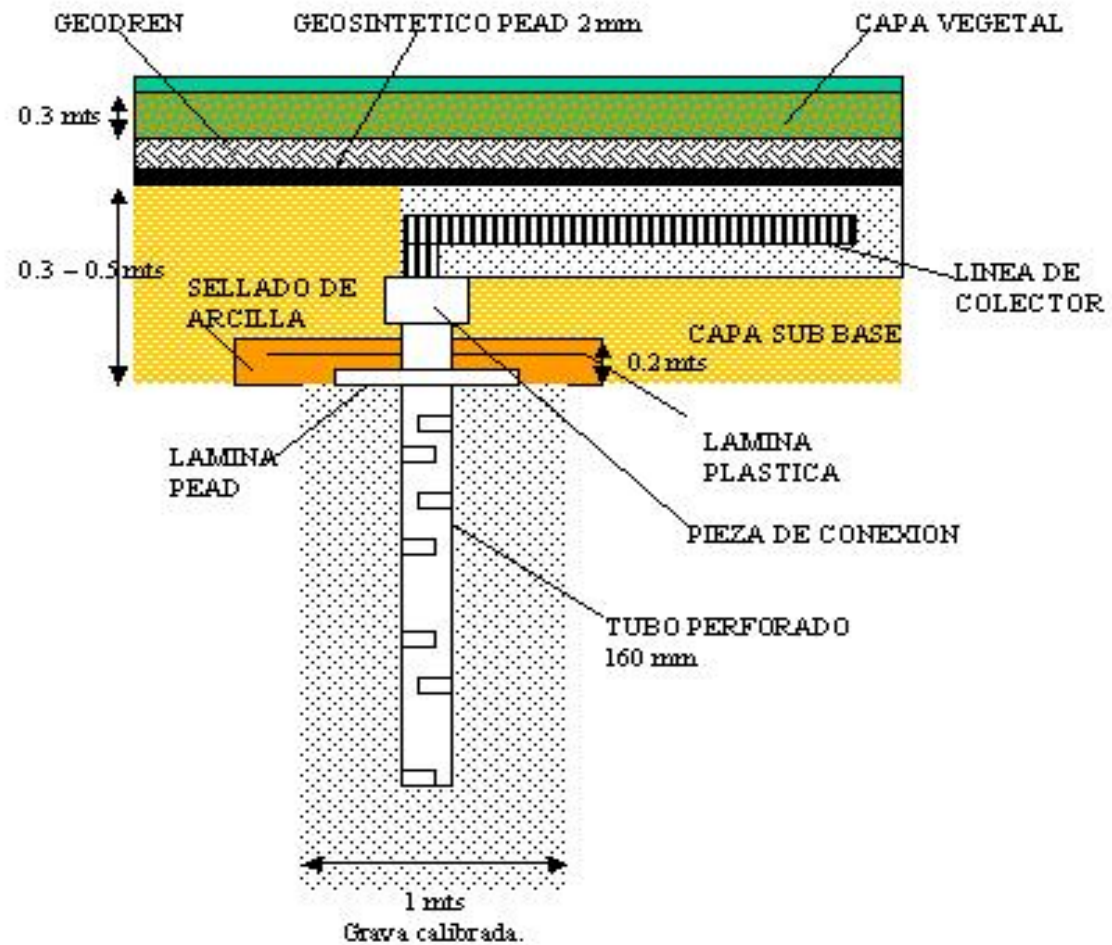


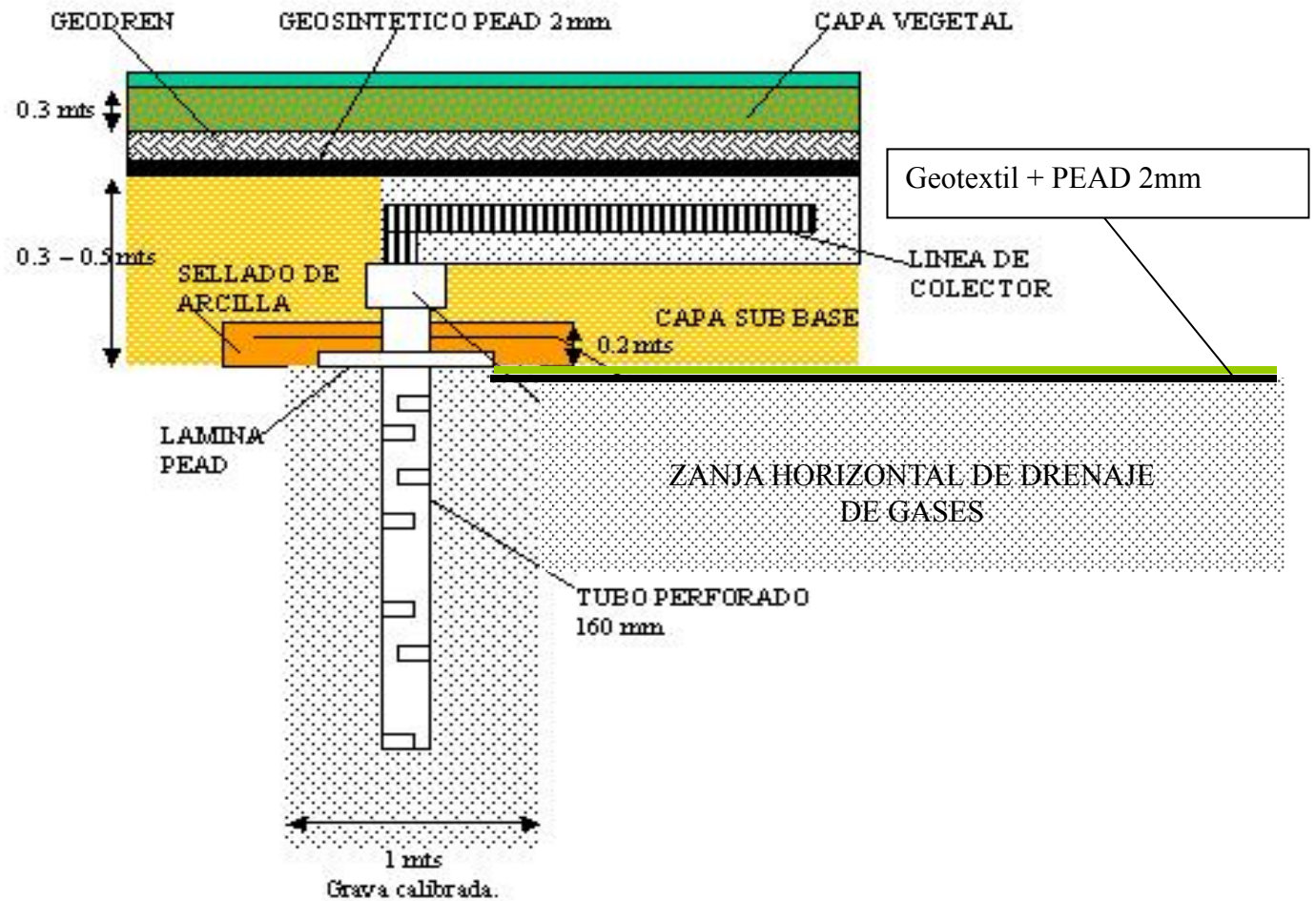


**LEYENDA**

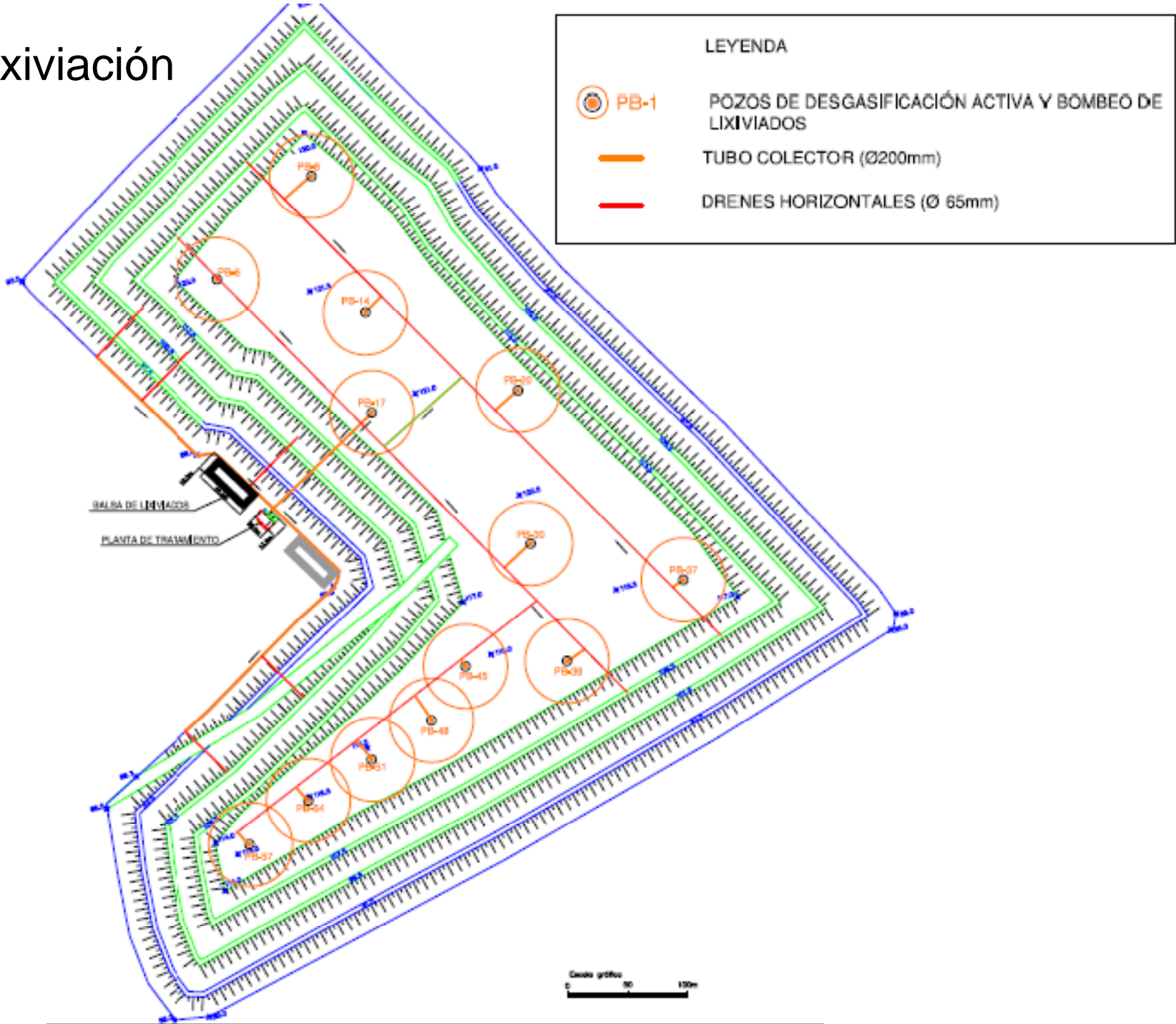
-  PB-1 POZOS DE BOMBEO
-  COLECTOR Ø90 mm
-  COLECTOR Ø63 mm
-  COLECTOR Ø160mm
-  ANTORCHA
-  TRAMPA DE CONDENSADOS (5 ud)

Escala gráfica  
0 50 100m



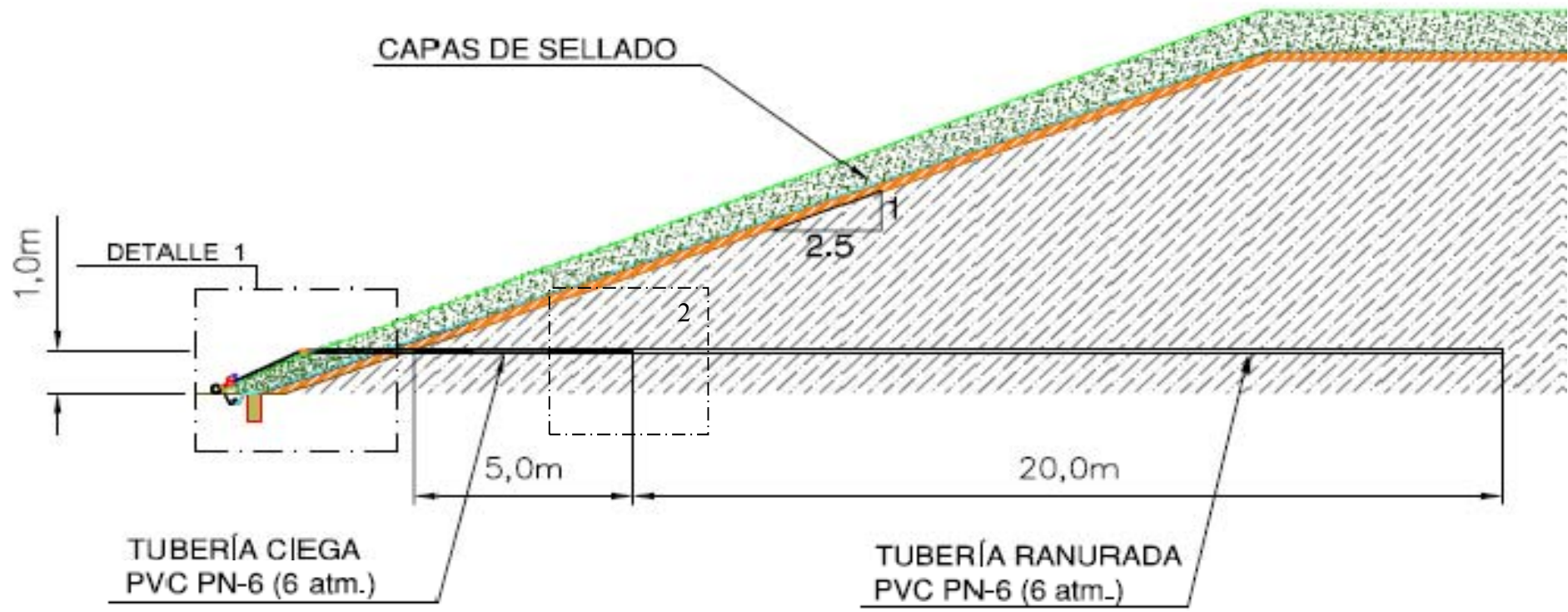


# Extracción Lixiviación





# Dren horizontal de extracción de lixiviado



# Dren horizontal de extracción de lixiviado

